

STAATLICHE UNIVERSITÄT ZU TARTU



H. Tõevere, K. Uustalu

TEXTE FÜR CHEMIKER

Tartu 1967

E E S S Ö N A

Käesolev tekstide kogumik "Texte für Chemiker" on mõeldud auditoorseks lugemiseks TRÜ keemia osakonna üliõpilastele. Ta koosneb 28 tekstist, mis on väljavõtted SDV-s ilmunud keemiaentsüklopeediast, populaärteaduslikust keemiaalasest kirjandusest, ajalehtedest ja NSVL seitsme aasta plaani kontrollarvude saksakeelsest tõlkest.

Kogumikku on valitud keemiaalaseid tekste, mis annavad teatava hulga vastavat terminoloogiat ning on mõeldud üleminekuastmeks iseseisvale erialakirjanduse lugemisele.

Osa tekstidest kirjeldab sündmusi ja kujusid keemia-teaduse ajaloost ning on sobivad üliõpilaste praktilise kõneoskuse arendamiseks.

Tekstidele on lisatud saksa-eesti sõnastik, mis võimaldab nende iseseisvat läbitöötamist üliõpilaste poolt eelharjutuseks nende iseseisvale tööle võõrkeelse erialakirjandusega.

Koostajad.

KONTROLLZIFFERN FÜR DIE ENTWICKLUNG
DER VOLKSWIRTSCHAFT DER
U d S S R
in den Jahren 1959 bis 1965

Eine wichtige Aufgabe in den nächsten sieben Jahren besteht darin, die reichen natürlichen Ressourcen unseres Landes in den Wirtschaftskreislauf einzubeziehen, die territoriale Standortverteilung der Produktivkräfte zu verbessern und die Industrie näher an die Rohstoff- und Brennstoffquellen sowie an die Verbrauchsgebiete heranzuführen.

Besondere Aufmerksamkeit wird der weiteren Erschließung der Naturreichtümer in den östlichen Gebieten der UdSSR gewidmet. Zu diesem Zweck wird vorgesehen:

Bau einer mächtigen dritten Hüttenbasis auf der Grundlage der in den letzten Jahren entdeckten neuen Eisenerzvorkommen Sibiriens und Kasachstans;

bedeutende Entwicklung der Nichteisenmetallurgie in den Gebieten Kasachstans, Mittelasien, des Urals und Transbaikaliens auf der Grundlage der reichen Rohstoffvorkommen;

mächtige Entwicklung der Energiewirtschaft in Sibirien auf der Grundlage der billigen Kohle aus den neuen Vorkommen;

hohes Entwicklungstempo der Erdöl- und Gasindustrie in den Gebieten zwischen Wolga und Ural; die Schaffung eines neuen Schwerpunkts der Gasindustrie in Usbekistan;

beschleunigte Entwicklung der chemischen Industrie, die einer der führenden Zweige der Volkswirtschaft der

Gebiete des Ostens und besonders der Republiken Mittelasiens wird;

schnelles Entwicklungstempo der Holzgewinnung in den waldreichen Gebieten Sibiriens und des Fernen Ostens.

Gleichzeitig ist beabsichtigt, alle Möglichkeiten zur Entwicklung der Produktivkräfte im europäischen Teil des Landes auszunutzen. Dafür ist vorgesehen:

Entwicklung der Rohstoffbasis der Eisenmetallurgie des Zentrums und des Südens auf der Grundlage der Ausnutzung des Eisenerzreichtums der Kursker Magnetanomalie und der Ukraine;

weitere Entwicklung der Nichteisenmetallurgie in den Gebieten der Kola-Halbinsel;

hohes Entwicklungstempo der Erdölindustrie und der Gasindustrie im Nordkaukasus und in der Ukraine;

forcierte Entwicklung der chemischen Industrie auf Erdöl- und Gasbasis in vielen Gebieten;

bessere Ausnutzung des fruchtbaren Bodens in der Zone beständiger Niederschläge in den Gebieten der RSFSR, der Ukraine, Belorusslands und der baltischen Republiken;

Steigerung der Hektarerträge bei landwirtschaftlichen Nutzpflanzen und Leistungssteigerung in der Viehwirtschaft.

DIE CHEMISCHE INDUSTRIE

Entsprechend den Kontrollziffern ist eine beschleunigte Entwicklung der chemischen Industrie vorgesehen. Der gesamte Umfang der Produktion chemischer Erzeugnisse wird sich auf fast das 3fache erhöhen. Die Produktion synthetischer Stoffe muß stark entwickelt werden: die Produktion von Chemiefasern wird auf das 3,8- bis 4fache, davon der wertvollsten - der synthetischen Fasern - auf das 12- bis 14fache und die Produktion von Plasten und synthetischen

Harzen auf das 6,7fache erhöht werden.

Die Entwicklung der Produktion polymerer Stoffe soll auf neuer Rohstoffbasis erfolgen. Es ist geplant, eine mächtige und allseitig entwickelte Industrie synthetischer Stoffe durch die Ausnutzung von Abgasen der Erdölgewinnung und von Erdgasen zu schaffen. Die Verwendung von Abgasen bei der Produktion von synthetischem Kautschuk an Stelle des früher verwendeten Spiritus wird es ermöglichen, in den bevorstehenden sieben Jahren an Investitionen etwa 1,3 Milliarden Rubel einzusparen. Die Produktion von Stickstoffdüngemitteln wird hauptsächlich durch die Ausnutzung von Erdgas erfolgen. Das wird es ermöglichen, rund vier Milliarden Rubel an Investitionen freizustellen.

Die Produktion neuer Arten von synthetischen Stoffen im großen Umfang wird es ermöglichen, hochwertige und billige Bedarfsgüter in weit größerer Menge herzustellen sowie das technische Niveau und die Ökonomik aller Zweige der Volkswirtschaft zu heben. Große Möglichkeiten eröffnen sich für die Verwendung dieser Stoffe im Bauwesen, besonders im Wohnungsbau und in der Möbelindustrie.

Entsprechend den Kontrollziffern ist eine Erhöhung der Produktion von Mineraldüngemitteln auf fast das Dreifache sowie eine bedeutende Erweiterung des Sortiments chemischer Erzeugnisse vorgesehen. Die Produktion von Mineraldüngekonzentraten, von äußerst wirksamen organischen Phosphorpräparaten für die Bekämpfung von Schädlingen und Krankheiten landwirtschaftlicher Nutzpflanzen sowie die Produktion von chemischen Unkrautbekämpfungsmitteln wird erhöht werden.

In den nächsten sieben Jahren sollen über 140 große chemische Betriebe neu erbaut oder fertiggestellt werden. Außerdem werden über 130 Betriebe rekonstruiert. Es ist vorgesehen, große Kombinate für die komplexe Verarbeitung der Abgase bei der Erdölverarbeitung anfallenden Gase und anderer Rohstoffe zu schaffen.

Dabei wird der Bau neuer und die Rekonstruktion bestehender Betriebe der chemischen Industrie durch die allseitige Ausnützung der Errungenschaften von Wissenschaft und Technik unseres Landes und der ausländischen Erfahrungen verwirklicht werden.

CHEMIE-PLENUM DES ZENTRALKOMITEES DER K P d S U

200 neue Chemie-Betriebe

Am Montag tritt in Moskau das Zentralkomitee der KPdSU zu seiner Dezembertagung zusammen, um mit hervorragenden Wissenschaftlern und Bestarbeitern aus Industrie und Landwirtschaft über "Die Weiterentwicklung der Chemie und die breite Anwendung chemischer Produkte und Materialien in der Volkswirtschaft" zu beraten.

Die Vorbereitung des Plenums spiegelte sich in einer wahren Volksdiskussion wider. In Presse, Funk und Fernsehen meldeten sich Angehörige aller Berufe zu Wort, erörterten die Probleme ihres Arbeitsgebietes oder unterbreiteten Vorschläge. Zahlreiche Kollektive übernahmen Verpflichtungen im Rahmen von Wettbewerben.

In den vergangenen fünf Jahren stieg die Bruttoproduktion der Chemieindustrie auf das 1,9fache. In 200 neuen Betrieben und riesigen Werkhallen wurde in den letzten vier Jahren die Produktion aufgenommen. Bedeutende Zentren der Chemieindustrie entstanden in Sibirien, in Usbekistan, im Kaukasus, in der Ukraine, in Belorußland und in Baschkirien. Seit Mai 1958 verdoppelte sich die Zahl der Chemiker, erhöhten sich die Ausgaben für die chemische Forschung auf das 3,5fache, und 28 neue Forschungsinstitute nahmen die Arbeit auf.

Die Produktion von Kunstdünger wird zukünftig eine große Rolle spielen. Neben der Erweiterung der bewässerten Flächen wird die Steigerung dieser Produktion als Grundvoraussetzung dafür bezeichnet, jährlich garantierte Ernten zu erhalten und bis 1970 die Produktion von Getreide auf 230 Millionen Tonnen, von Fleisch auf 25 Millionen Tonnen und von Milch auf 135 Millionen Tonnen zu erhöhen.

Noch manche Hindernisse müssen aus dem Weg geräumt werden, wie zum Beispiel die noch ungenügende Konzentration der Mittel auf die Schwerpunkte oder mangelhafte Ausnutzung der Reserven. Das Plenum wird durch konkrete Maßnahmen zur schnellen Entwicklung der chemischen Industrie, zur Steigerung der Produktion von Mineraldünger, Plasten und synthetischen Materialien sowie deren umfassenden Einsatz in der Volkswirtschaft freie Bahn schaffen.

"Berliner Zeitung" 8. Dez. 1963

Wüste heute Industriegebiet

Als Aufgabe von erstrangiger Bedeutung bezeichnete der Landwirtschaftsminister der UdSSR, Iwan Wolowtschenko, die Einrichtung eines agrochemischen Dienstes im Maßstab des ganzen Staates. Der Redner teilte mit, daß insgesamt 204 solcher agrochemischen Laboratorien einzurichten seien, die den Kolchosen und Staatsgütern bei der Anwendung von Düngern und mineralischen Futtermitteln Unterstützung geben sollen.

Aserbaidshan habe alle Voraussetzungen, ein Zentrum der Großchemie zu werden, erklärte Weli Achunow, Sekretär des Zentralkomitees der KP Aserbaidshans. Er teilte mit, daß die jährliche durchschnittliche Wachstumsrate der chemischen Produktion 22 Prozent ausmache.

Wie die Schätze des sowjetischen Nordens in den Dienst des Volkes gestellt werden, schilderte Konstantin Galanschin, 1. Sekretär des Industrie-Gebietskomitees der

KPdSU in Perm. Hier haben die Geologen am Oberlauf der Kama ein Kalisalz-Vorkommen entdeckt, in dem fast ein Drittel aller Bestände dieses Rohstoffs in der Welt konzentriert sind. In dieser einstigen Halbwüste wurden große Kombinate und Betriebe gebaut, die etwa 500 verschiedene chemische Erzeugnisse herstellen.

Georgi Orlow, Vorsitzender des Staatlichen Komitees für Holz-, Zellstoff- und Papierindustrie, erklärte, daß die Produktion der Zellstoff- und Papierindustrie bis 1970 auf 11,5 Millionen Tonnen steigen soll. Gegenwärtig seien Industriebetriebe im Bau, die die Erfüllung dieser Aufgabe real machen.

"Berliner Zeitung"

12. Dez. 1963

Chemieprogramm angenommen

Das Plenum des Zentralkomitees der KPdSU hat gestern vor Abschluß der mehrtägigen Tagung einstimmig einen Beschluß angenommen, in dem das Programm der weiteren Entwicklung der Chemieindustrie der UdSSR in den nächsten sieben Jahren bis 1970 gebilligt wird. Das Plenum erachtet die Verwirklichung dieses Programms als "überaus wichtige Aufgabe von Partei und Staat, auf deren Lösung in der nächsten Zeit die Kräfte der Partei und des Volkes konzentriert werden müssen".

"Berliner Zeitung"

14. Dez. 1963

BESCHAFFENHEIT DER METALLE¹⁾

Aluminium, Al: silberweiß ("Silber aus Lehm"), dehnbar, löslich in Säuren und Laugen, quecksilberempfindlich, ungiftig.

Antimon, Sb: bläulichweiß, grobkristallin, spröde, härtet z.B. Blei.

Barium, Ba: silberweiß, sauerstoff- und wasserempfindlich.

Beryllium, Be: hellgrau, bildet mit Kupfer die hochfeste Berylliumbronze; Bremssubstanz in Kernreaktoren; sehr giftig.

Blei, Pb: dunkelgrau, weichstes Gebrauchsmetall, beständig gegen Schwefelsäure, löslich in organischen Säuren, sehr giftig.

Chrom, Cr: silberweiß, spröde, ritzt Glas; galvanische Chromüberzüge, Stahl-Legierungsmetall.

Eisen, Fe: hellgrau, dehnbar, ferromagnetisch, rostet in feuchter Luft.

Gallium, Ga: hellgrau, schmilzt bei 30°C ; Thermometerflüssigkeit für Temperaturen bis 1000°C .

Germanium, Ge: hellgrau, selten.

Gold, Au: gelb, edel, dehnbarstes Metall, nichtlöslich in reinen Säuren, löslich in Königswasser und Quecksilber.

Hafnium, Hf: hellgrau, technisch noch nicht verwendet.

Indium, In: hellgrau, weich, zinnähnlich.

Iridium, Ir: silberweiß, Platinmetall, hart und spröde, wird von Säuren nicht angegriffen.

Kadmium, Cd: silberweiß, ähnelt dem Zinn, jedoch etwas härter: Bestandteil leicht schmelzender Legierungen; galvanische Überzüge auf Eisen als Rostschutz; Neutronen-

1) Kleine Enzyklopädie, "Natur".

fänger in Kernreaktoren; giftig.

Kalium, K: silberweiß, wachsw weich, luft- und wasserempfindlich, Reduktionsmittel.

Kobalt, Co: hellgrau, ferromagnetisch, Legierungsmetall für Stähle und Hartmetalle.

Kupfer, Cu: lachsrosa, sehr dehnbar, hohe Leitfähigkeit für Wärme und Elektrizität, löslich in Salpetersäure; weniger giftig als allgemein angenommen.

Lithium, Li: silberweiß, wasserempfindlich, Rohstoff für Substanzen der Wasserstoffbombe.

Magnesium, Mg: silberweiß, verbrennt mit weißem Licht; Magnesiumlegierungen.

Mangan, Mn: eisenähnlich, aber hart und spröde.

Molybdän, Mo: silberweiß, säure- und laugenbeständig; Zuleitungsdraht in Glühlampen, Stahl-Legierungsmetall.

Natrium, Na: silberweiß, wachsw weich, luft- und wasserempfindlich, Reduktionsmittel.

Nickel, Ni: silberweiß, luft- und wasserfest, ferromagnetisch, Gerätewerkstoff in der chemischen Technik, galvanische Nickelüberzüge, Bestandteil von legierten Stählen und Kupferlegierungen.

Niob, Nb: hellgrau, luft- und säurebeständig, Legierungsbestandteil rostfreier Stähle.

Osmium, Os: hellgrau, Platinmetall, jedoch nicht so beständig wie Platin, oxydiert beim Glühen an der Luft.

Palladium, Pd: hellgrau, Platinmetall, löslich in Salpetersäure, Legierungsbestandteil des Weißgoldes.

Platin, Pt: hellgrau, edel, dehnbar, kommt vor gediegen vor, löslich in Königswasser.

Quecksilber, Hg: silberweiß, bei gewöhnlicher Temperatur flüssig, löslich in Salpeter- und konzentrierter Schwefelsäure; Dämpfe giftig.

Radium, Ra: hellgrau, wasser- und säureempfindlich, kaliumähnlich, geht unter Aussendung von Strahlung in Blei über.

Rhenium, Re: hellgrau, platinähnlich, löslich in Salpetersäure.

Rhodium, Rh: hellgrau, Platinmetall, säurefest (auch gegen Königswasser), mit Platin legiert für Thermoelemente und als Katalysator.

Rubidium, Rb: kaliumähnlich, selbstentzündlich an der Luft.

Silber, Ag: weißglänzend, edel; durch Schwefelwasserstoff dunkel anlaufend, löslich in Salpetersäure; stark bakterizid.

Strontium, Sr: hellgrau, wasserempfindlich.

Tantal, Ta: platingrau, säurebeständig, Legierungsbestandteil rostfreier Stähle.

Thalium, Tl: grau, bleiähnlich, sehr giftig.

Thorium, Th: grau, geeignet als Rohstoff für Atomkraftwerke (ähnlich Uran).

Titan, Ti: hellgrau, leicht, sehr fest und elastisch; wichtiger Werkstoff für Düsenflugzeuge.

Uran, U: silberweiß, Rohstoff für Atomkraftwerke.

Vanadium, V: hellgrau, sehr hart, Stahl-Legierungsmetall.

Wismut, Bi: bräunlich-weiß, glänzend, spröde, Bestandteil leicht schmelzender Legierungen, dehnt sich beim Erstarren aus (wie Wasser).

Wolfram, W: grau, sehr hart; Glühdraht in Glühlampen, Stahl-Legierungsmetall.

Zäsium, Cs: kaliumähnlich, selbstentzündlich an der Luft.

Zer, Ce: hellgrau, dehnbar, Bestandteil der Reibzünder von Feuerzeugen.

Zink, Zn: bläulichweiß, luftbeständig, von Säuren gelöst, walzbar bei 100 bis 150°C.

Zinn, Sn: silberweiß, weich, luftbeständig, zu Folien (Stanniol) walzbar, ungiftig.

Zirkonium, Zr: hellgrau, säurebeständig; Werkstoff für Kernreaktoren.

BESCHAFFENHEIT VON NICHTMETALLEN 1)

Arsen, As: ein Element mit zum Teil metallischen Eigenschaften. Kommt in der Natur gediegen (als Scherbenkobalt) und (meist an Schwefel) gebunden vor, z.B. Arsenkies (Schwefeleisenarsen, FeAsS). Verbrennt (dabei nach Knoblauch riechend) zu sehr giftigem Arsentrioxid (Arsenik, Giftmehl, Arsenigsäureanhydrid). Wird verwendet in der Färberei, zu Schrot, Email, als Konservierungs- und Arzneimittel (z.B. Salvarsan).

Bor, B: ein braunes bis schwarzes Pulver, das beim Glühen an der Luft zu Bortrioxid, B_2O_3 , verbrennt und sich in der Hitze auch mit anderen Stoffen verbindet. Dargestellt durch Glühen eines Bortrioxid-Magnesium-Gemisches. In der Natur findet es sich als Borsäure (Sassolin, H_3BO_3 , z.B. in heißen Quellen bei Sasso in Toskana) und in Borsalzen wie Borax, Borazit (z.B. in Straßfurter Abraum-salzen). Kristallisiertes Bor ist sehr hart, wird z.B. in der Form von aluminiumhaltigen Borkristallen ("Bordiamanten": Härte und Lichtbrechung diamantähnlich) für Bohrer und Schleifmittel benutzt. Weitere Verwendung des Bors nur in Verbindungen wie Borsäure zu Glasuren, Email; Glas, medizinisch zum Desinfizieren und als Frischhaltungsmittel bei Krabbenkonserven; Borax zu Gläsern, Email zum Weich-machen des Wassers, als Schweißpulver, in der analytischen Chemie als Boraxperle; Perborate (z.B. Natriumperborat, NaBO_3) als Wasch- und Bleichmittel; Borkarbid, B_4C , dient zum Schleifen von Diamanten u.a.

Brom, Br: (griechisch: Gestank): eine schwere rotbraune Flüssigkeit, aus der des niedrigen Siedepunktes wegen zu Boden sinkende rotbraune Dämpfe entweichen, die chlor-

1) Kleine Enzyklopädie, Natur.

^{nach + 0}
ähnlich riechen. Stark ätzend, etwas löslich in Wasser zu Bromwasser, leichter löslich in organischen Lösungsmitteln wie Chloroform, Schwefelkohlenstoff. Dargestellt aus dem Bromkarnallit in den Endlaugen der Kaliindustrie. Verwendet in der Teerfarbenindustrie, zur Herstellung von Bromwasser (zum Oxydieren und Desinfizieren), beruhigenden Heilmitteln und Bromverbindungen wie Bromiden (Metall-Brom-Verbindungen, z.B. Silberbromid, AgBr, lichtempfindlicher Stoff in photographischem Negativmaterial und Vergrößerungspapieren), Bromaten (Salze der Bromsäure) u.a.

Chlor, Cl: (griech.: grünlich): ein grüngelbes Gas. Riecht stechend, greift Schleimhäute an und wirkt dadurch giftig. Verbindet sich mit Wasserstoff zu einem farblosen Gas, dem Chlorwasserstoff, HCl (in Wasser zu Salzsäure löslich), und mit Metallen zu Chloriden, z.B. mit Natrium zu Natriumchlorid = Kochsalz, NaCl. Wirkt desinfizierend und bei Gegenwart von Wasser bleichend (Vorsicht!)! Wird technisch gewonnen durch Elektrolyse der Alkalichloride und gehandelt 1. in Stahlflaschen (durch Druck verflüssigt) oder 2. als Chlorkalk (gebunden an gelöschten Kalk) oder 3. als Chlorlauge (gebunden an Natronlauge). Mit Chlor verbunden heißt: chlorieren. Verwendet zur Herstellung von Chlorkalk und -lauge, zum Desinfizieren von Hallenbädern, Abwässern, zum Entkeimen von Trinkwasser.

Fluor, F: ein schwachgelbes Gas: bildet mit Metallen Flouride, z.B. Kaliumfluorid (Flußspat, CaF_2). Mit Wasserstoff ^{mit zu} verbindet es sich zu Fluorwasserstoff, der sich in Wasser zu Flußsäure (in Paraffin- oder Hartgummiflaschen gehandelt) löst. Verwendet werden nur Verbindungen des Fluors.

Jod, J: ein Element im Meerwasser, in Meersalzen, Tangen und in der Schilddrüse. Besteht aus schwarzgrauen, metallglänzenden Kristallblättern; bildet bereits bei gewöhnlicher Temperatur Joddampf, der die Schleimhäute reizt. Schwerlöslich in Wasser, leichtlöslich in Alkohol zu Jod-

tinktur (zur Hautdesinfektion und zum Hautreiz); färbt Stärke blau; bildet mit Metallen Jodide, z.B. Kaliumjodid, KJ, oft medizinisch verwendet. Jodvergiftung (Jodismus) tritt ein bei starkem Gebrauch von Jod oder bereits durch wenig, bei Jodempfindlichkeit (Verursacht Jodschnupfen oder Hautausschlag). *Pauschhaft - neu schreiben*

Kohlenstoff, C: ein in allen "organischen" Stoffen enthaltenes Element; ^{höchster Proz.} Hauptbestandteil urweltlicher Reste von Pflanzen und Tieren, also von Kohle, Erdöl, Asphalt. Kommt vor als Graphit, auch als Diamant. Verbindet sich mit Sauerstoff zu Kohlen /mon/oxyd, CO, und mit Wasserstoff zu zahlreichen Kohlenwasserstoffen (den Grundverbindungen der organischen Chemie), mit Metallen zu Karbiden, z.B. Kalziumkarbid, CaC_2 , d.i. Karbid schlechthin. Er dient ^{schon} bei der Metallgewinnung als Heiz- und Reduktionsmittel, fein verteilt (als Aktivkohle) als Adsorptionsmittel für Gase und Farbstoffe, auch als Heilmittel.

✓ Phosphor, P (griech.: Lichtträger): ein Element, das in der Natur nie frei vorkommt. Dargestellt als weißer Phosphor (sehr giftig, im Dunkeln leuchtend, leicht selbstentzündlich, daher unter Wasser aufzubewahren) und roter Phosphor (nicht giftig, nichtleuchtend, nur durch Flamme entzündbar). Verbrennt zu Phosphorpentoxid, P_2O_5 , (bildet mit Wasser Phosphorsäuren) und verbindet sich mit Metallen zu Phosphiden; ist ^{schon} Bestandteil von Knochen und Eiweiß; muß in der menschlichen Nahrung und im Dünger der Pflanzen enthalten sein. Verwendet als roter Phosphor z.B. für die Streichflächen an Zündholzschachteln (weißer Phosphor wird hierzu wegen seiner Giftigkeit kaum noch verwendet).

Sauerstoff, O (lat. oxygenium): ein geruch-, farb- und geschmackloses Gas; verbindet sich mit fast allen Elementen (oxydiert bzw. verbrennt sie); unentbehrlich für Verbrennung und Atmung. Jedes Oxid ist eine Sauerstoffverbindung. Wird technisch meist aus flüssiger Luft durch Abdunsten von Stickstoff gewonnen und in blauen

aus + O.

Stahlflaschen unter hohem Druck (etwa 150 at) gehandelt. Mit Sauerstoff verbinden heißt oxydieren; ihn aus Verbindungen entziehen reduzieren. Verwendet zum autogenen Schweißen und Schneiden, im Rettungswesen zur Belebung des Atmungsvorgangs usw.

Schwefel, S (lat. sulfur): ein Bestandteil vieler Erze (bes. der Kiese, Glanze und Blenden), kommt auch gediegen (als gelber, ^{glänzend} fester, geruch- und geschmackloser Stoff) vor. Wird gehandelt als Stangenschwefel (gegossen), in Schwefelfäden (schwefelgetränkte Textilfasern) als Schwefelblume (Schwefelblüte, aus Dämpfen) und als Schwefelmilch (aus Lösungen gefällt). Verbindet sich mit Kohlenstoff zu Schwefelkohlenstoff, CS_2 (widerlich riechende, leicht entzündliche Flüssigkeit), mit Wasserstoff zu Schwefelwasserstoff, H_2S (Gas, nach dem faulende Eier riechen), mit Sauerstoff zu Schwefeldioxid (SO_2 ; stechender Geruch, bildet mit Wasser schweflige Säure) und zu Schwefeltrioxid, SO_3 (bildet mit Wasser Schwefelsäure), mit Metallen zu den sog. Sulfiden wie Eisensulfid (Schwefeleisen, FeS), Pyrit, FeS_2 , Kupfersulfid, CuS , Bleisulfid (Bleiglanz, PbS), Zinksulfid (Zinkblende, ZnS), Quecksilbersulfid (Zinnober, ^{rot} HgS). Verwendet zum "Schwefeln" der Weinstöcke und -fässer (als SO_2), zum Bleichen, zum Vulkanisieren von Kautschuk zu Gummi, zur Herstellung von Schwefelkohlenstoff u.a.

Selen, Se: ein Element, das in mehreren Modifikationen vorkommt, z.B. als rotes (glasiges, amorphes) und als metallisches (graues, kristallines) Selen; das rote läßt sich in metallisches (durch längeres Erwärmen bei $200^\circ C$) verwandeln. Metallisches Selen leitet den elektrischen Strom; je nach Belichtung wird seine Leitfähigkeit verändert. In Berührung z.B. mit Gold erzeugt Selen einen elektrischen Strom, sobald es von Licht getroffen wird; je mehr Licht, desto stärker der Strom (verwertet in photographischen Belichtungsmessern). Chemisch ähnelt Selen dem Schwefel und dem Tellur. Diese drei Elemente kommen in der

Natur in Schwefelmineralen vor. Beim Rösten entstehen daher auch Selen- und Tellurverbindungen, nämlich Seliendioxid, SeO_2 , und Tellurdioid, TeO_2 ; beide sind im Gegensatz zum Schwefeldioxid, SO_2 , fest und setzen sich daher z.B. bei der Schwefelsäurefabrikation, in Flugstaubkammern und im Bleikammerschlamm ab, der oft als Rohstoff für die Selen- und Tellurgewinnung dient. Wegen ihres gemeinsamen Vorkommens erhielten Selen und Tellur ihre Namen in Anlehnung an das Verhältnis Erde (lat. tellus) - Mond (griech. selene). Außer der bereits oben angedeuteten Verwendung dient Selen z.B. zum Färben von Glas (rosa bis rot, durch kolloide Lösung im Glas).

Silizium, Si: das vorherrschende Element in Quarz, Sand Glas, Ton, Lehm u.a. Je nach Darstellung ein braunes Pulver oder stark glänzende Nadeln und Blättchen. Verbindet sich leicht mit Sauerstoff zu Siliziumdioxid, SiO_2 , (Quarz, Anhydrid der Kieselsäuren); kommt in der Natur nicht gediegen vor; wird nur legiert verwendet, z.B. als Ferrosilizium, Quarzglas (geschmolzenes und amorph erstarrtes SiO_2).

Stickstoff, N (lat. nitrogenium, Stickgas): ein farb-, geruch- und geschmackloses Gas (Bestandteil der Luft), in dem Menschen und Tiere ersticken. Bei gewöhnlicher Temperatur und normalem Druck (1 at) verbindungs-träge, verbindet es sich unter höherem Druck (200 at) und bei höherer Temperatur (400°C) unter Mitwirkung von Reaktionsbeschleunigern (Katalysatoren) mit Wasserstoff zu Ammoniak, NH_3 , oder im elektrischen Lichtbogen mit Sauerstoff zu nitrosen Gasen (bilden mit Wasser Salpetersäure) oder mit erwärmtem Kaliumkarbid zu Kalkstickstoff (Kaliumzyanamid, CaNCN , meist CaCN_2 geschrieben). Wird technisch aus flüssiger Luft gewonnen, aus der Stickstoff von Sauerstoff abdestilliert. Mit Stickstoff verbinden heißt azotieren (frz. azote, Stickstoff) oder nitrieren, wenn die Nitrogruppe, - NO_2 , mit Hilfe der Mischsäure (konz. Salpeter-

und Schwefelsäure) in die Verbindungen eingefügt wird. Verwendet zur Oberflächenhärtung von Stahl, zur Herstellung von Kalkstickstoff aus Kalziunkarbid u.a.

Tellur, Te: ein dem Schwefel und Selen ähnliches Element; in der Natur z.B. mit Gold, Silber, Blei und Antimon zu Telluriden dieser Metalle verbunden; darstellbar als braunes Pulver (amorph) und metallisch (silberweiß, kristallin, sehr gering elektrisch leitend). In seinen Verbindungen verwendet zum Blau- und Braunfärben von Glas und Glasuren, zum Rosafärben von Porzellan u.a.

Wasserstoff, H (lat. hydrogenium): leichtestes Gas, geruch-, farb- und geschmacklos. Verbrennt mit sehr heißer Flamme zu Wasser; bildet mit Sauerstoff ein explosives Gemisch (Knallgas). Ist Bestandteil aller Säuren und der meisten organischen Verbindungen. Wirkt sauerstoffentziehend (reduzierend). Wird technisch meist durch Einwirkung von Wasserdampf auf glühender Kohle gewonnen und in (roten!) Stahlflaschen unter hohem Druck gehandelt. Mit Wasserstoff verbinden heißt hydrogenisieren. Wasserstoff wird verwendet als Traggas in Luftballonen, zur Fetthärtung, zur Kohleverflüssigung, für Knallgasflammen u.a.

WICHTIGE CHEMISCHE VERBINDUNGEN

Alkalien (arabisch: al kali, das Ausgelaugte): ursprünglich nur die basisch wirkenden Stoffe Na_2CO_3 und K_2CO_3 , die durch Auslaugen aus Seetang- und Holzasche gewonnen wurden. Später lernte man auch andere Alkalien (alkalisch wirkende Stoffe) kennen, nämlich NaOH , KOH , die Hydroxide der Alkalimetalle, die nunmehr als Alkalien den früheren, "silden Alkalien" gegenübergestellt wurden. Davon sind Natrium- und Kaliumhydroxid feste, weiße Stoffe (Stücke, Stangen u. dgl.), die Feuchtigkeit und Kohlendioxid anziehen; sie sind leicht löslich in

Wasser unter starker Wärmeentwicklung, wirken ätzend auf organisches Gewebe, greifen bei längerer Einwirkung Glas und Porzellan an, verseifen Öle und Fette, lösen tierische Haare, neutralisieren Säuren.

Azetylen, ein ungesättigter Kohlenwasserstoff, C_2H_2 : ein farbloses, mit rußender Flamme verbrennendes Gas. Chemisch rein von ätherischem Geruch, wird es als "Narkyzlen" für leichtere Narkosen verwendet; technisch (vor allem durch Phosphorverbindungen verunreinigt) unangenehm riechend und giftig. Sehr zersetzlich, unter Druck oder gekühlt sogar explosiv. Zum Versand wird es unter Druck in Azeton angereichert (250 l auf 1 l Azeton). Verwendet zur Beleuchtung, als Motortreibstoff, zum autogenen Schweißen, Schneiden, Löten und Härten der Metalle; Ausgangsstoff für viele Synthesen, z.B. der Essigsäure, des Alkohols.

DIE EDELGASE 1)

Helium, Neon, Argon, Krypton,
Xenon

Im Jahre 1892 fand Lord Rayleigh, daß "Luftstickstoff", d.h. der Gasrest, der hinterbleibt, wenn man der Luft den Sauerstoff entzieht, ein merklich höheres ^{und wenn} Litergewicht aufweist, als der aus chemischen Verbindungen in Freiheit gesetzte Stickstoff. Ramsay zog ^{und dann} daraus den Schluß, daß der Luftstickstoff geringe Mengen eines schwereren Gases beigemischt enthält. 1895 gelang es Ramsay und Rayleigh, dieses Gas zu isolieren. Sie gaben ihm den Namen Argon (von griech. träge), da die chemische Trägheit seine am meisten charakteristische Eigenschaft ist. Es reagiert chemisch überhaupt nicht, auch nicht in der

1) H. Remy, Grundriss der anorganischen Chemie, Leipzig, 1956.

Hitze. Der Argongehalt der Luft beträgt rund 1 Volumprozent.

Es ergab sich bald, daß noch einige weitere chemisch absolut ^{inert} träge Gase ^{nicht} in der Luft vorkommen, jedoch in sehr viel geringeren Mengen als Argon. Sie erhielten die Namen Helium, Neon, Krypton und Xenon. Da diese gasförmigen Elemente alle die Eigenschaft gemeinsam haben, daß sie sich mit keinem Stoff chemisch zu vereinigen vermögen, faßt man sie unter dem Namen Edelgase zusammen. Der Name wurde gebildet in Anlehnung an die Bezeichnung Edelmetalle für diejenigen Metalle, die, wie Gold, an der Luft, auch beim Erhitzen, vollkommen blank bleiben und von denen man früher ^{annahm}, daß sie sich mit Sauerstoff nicht unmittelbar verbinden vermögen.

Die Edelgase lassen sich, ebenso wie Stickstoff und Sauerstoff, auf chemischem Wege nicht in einfachere Stoffe zerlegen, sind also einfache Stoffe. Gase, die wie die genannten chemisch einfach sind, werden als elementare Gase bezeichnet.

Die Gewinnung der Edelgase aus der Luft und ihre Trennung voneinander kann durch fraktionierte Verflüssigung bzw. fraktionierte Destillation nach Verflüssigung erfolgen. Die Edelgase sind alle schwer verflüssigbar, am schwersten das Helium, dessen Siedepunkt nur 4° oberhalb des absoluten Nullpunktes liegt.

Helium ist 7,2mal leichter als Luft und wird daher in Nordamerika, wo es (mit anderen Gasen ^{zusammen}) an einigen Stellen der Erde entströmt, als vollkommen inexplosibles Ballongas verwendet. Die Luft enthält nur äußerst geringe Mengen Helium und Neon (0,0005 bzw. 0,0015 Volumprozent). Gleichwohl werden beide Gase heute daraus gewonnen, da sie für Reklamebeleuchtung Verwendung finden. Argon dient neben Stickstoff als Füllgas für gasgefüllte Glühlampen. Krypton und Xenon besitzen nur wissenschaft-

liches Interesse.

Essigsäure, Eisessig, CH_3COOH : eine farblose, stechend riechende, Wasser anziehende Flüssigkeit, die bereits bei $+16,6^\circ\text{C}$ zu einer eisähnlichen Masse erstarrt. Eine etwa 3%ige wässrige Lösung ergibt Speiseessig. Bildet mit Metallen Azetate, wie Natriumazetat, basisches Kupferazetat (Grünspan), Aluminiumazetat (basisches Aluminiumazetat in wässriger Lösung heißt essigsäure Tonerde) u.a.

Kalk: die Bezeichnung für ungebrannten Kalk (bes. Kalkstein, der vorwiegend aus Kalziumkarbonat, CaCO_3 , besteht, vermischt mit Magnesiumkarbonat, Eisenoxid, Sand, Ton oder Kohle), gebrannten Kalk (Kalziumoxid, CaO) und gelöschten Kalk - Löschkalk, Atzkalk, Luftkalk, Kalziumhydroxid, Ca(OH)_2 ; wird in Zusammensetzungen oft für Kalzium Ca gebraucht, bisweilen auch (besonders in Landwirtschaft und Heilkunde) als Bezeichnung für Kalziumsalze. Gelöschter Kalk nimmt aus der Luft Kohlendioxid auf unter Rückbildung zu Kalziumkarbonat und unter Abscheidung von Wasser; hierauf beruht das Erhärten von Kalkmörtel (Gemisch aus gelöschtem Kalk und Sand). Weiß- oder Fettkalk wird aus fast reinem Kalkstein erhalten, Mager- oder Graukalk aus verunreinigtem Kalkstein. Hydraulischer Kalk (Zement-, Wasser- oder Schwarzkalk) wird durch Brennen von ton- und magnesiumhaltigem Kalkstein unterhalb der Sintergrenze gewonnen; er kann unter Wasser erhärten.

Kohlendioxid, CO_2 : Kohlensäureanhydrid, fälschlich Kohlensäure genannt: ein farbloses Gas von schwach säuerlichem Geschmack. Nicht brennbar, erstickt die Flamme, wirkt - in größerer Menge eingeatmet - schädigend bis tödlich; 1,53mal so schwer wie Luft. Läßt sich durch Abkühlen oder Druck verflüssigen und kommt unter etwa 150 atü (zum Teil flüssig) in Stahlflaschen zum Versand. Beim Ausströmen des Kohlendioxids als Flüssigkeit in die Atmosphäre entsteht durch starke Abkühlung (infolge rascher Verdunstung) festes Kohlendioxid, Kohlensäureschnee, der

zu Zylindern (etwa 15 cm Durchmesser) zusammengepreßt als Trockeneis (- 78,5 verdunstet ohne Rückstand) für Kühl-, Feuerlösch- und medizinische Zwecke in den Handel kommt. Kohlendioxid gibt Getränken einen erfrischenden Geschmack, erhärtet Kalkmörtel durch Bildung von Kalkstein, trübt Kalkwasser - wäßrige Lösung von gelöschtem Kalk, Ca(OH)_2 - und Barytwasser - wäßrige Lösung von Bariumhydroxid, Ba(OH)_2 - durch Ausscheiden von Kalzium - bzw. Bariumkarbonat.

Ozon: ein bläuliches, stark riechendes Gas; eine Modifikation des Sauerstoffs O_2 . Es besteht aus Molekülen, in denen je 3 Sauerstoffatome O_3 verkettet sind. Es entsteht z.B. bei chemischen Umsetzungen, die vorübergehend atomaren Sauerstoff O liefern, bei Einwirkung ultravioletter Strahlen auf Luftsauerstoff (Höhensonne!), bei elektrischen Entladungen in der Luft, z.B. bei Blitzschlag oder durch Funkeninduktoren. Ozon wirkt stark oxydierend, tötet Bakterien, bleicht, entzündet z.B. Äther, schwärzt Silberblech.

Phosphorsäuren: als Orthophosphorsäure (Phosphorsäure schlechthin, H_3PO_4) farblose, harte Kristalle (Schmp +42,3°C), an der Luft zerfließend (in beliebig geringen Wassermengen löslich), nicht giftig. In Handel als sirupdicke Lösung (mit 80-90% H_2PO_4), z.B. zum Säuern von Limonaden, als Rostschutzmittel und Porzellankitt, für Zahnzement, zum Haltbarmachen von Wasserstoffsuperoxydlösungen. Bildet als dreibasige Säure mit Basen primäre, sekundäre und tertiäre Orthophosphate, je nachdem, ob 1, 2 oder 3 ihrer Wasserstoffatome durch Metall ersetzt sind. Wird bei längerem Erhitzen auf 200 bis 300°C zu einer farblosen, glasigen, leicht löslichen Masse, zur Pyrophosphorsäure, $\text{H}_4\text{P}_2\text{O}_7$, die durch weiteres Erhitzen zur Metaphosphorsäure (HPO_3), einer harten glasigen Masse, wird.

Wasser, H_2O : ein Oxid des Wasserstoffes. Reine ist es geruch- und geschmacklos, in dünner Schicht farblos,

bei etwa 5 m Dicke tiefblau. Bei 0°C erstarrt (gefriert) es zu Eis unter Ausdehnung (deshalb schwimmt Eis auf Wasser und zersprengt z.B. Rohre) und Wärmeentwicklung (etwa 80 kcal/kg, die dem Eis beim Schmelzen wieder zugeführt werden müssen; daher wird Eis als Kühlmittel verwendet). Bei 100°C und 760 Torr siedet das Wasser und nimmt zur Bildung von 1 kg Dampf von 100°C 539 kcal Wärme auf, die der Dampf beim Flüssigwerden wieder abgibt (daher ist Dampf ein guter Wärmeträger bzw. Wärmelieferant). Es leitet die Elektrizität nur sehr wenig, ist das verbreitetste Lösungsmittel ($2/3$ der Erdoberfläche sind mit Wasser bedeckt). Größte Dichte bei $+4^{\circ}\text{C}$ (1 cm^3 Wasser bei $+4^{\circ}\text{C}$ entspricht weitgehend der Masseinheit 1 g). Gewöhnliches Wasser ist unrein, da in ihm geringe Mengen gasförmiger und fester Stoffe (Kohlendioxid, Luft, Kochsalz, Kalzium- und Magnesiumsalze) gelöst sind. "Hartes" Wasser enthält bei vorübergehender Härte gelöstes Kalzium- und Magnesiumhydrogenkarbonat, bei bleibender Härte gelöstes Kalziumsulfat (Gips). "Weiches" Wasser ist enthärtetes Wasser oder Regenwasser. Destilliertes Wasser (aqua destillata) ist chemisch reines Wasser. Schweres Wasser, D_2O , ist die Verbindung von schwerem Wasserstoff (Deuterium) mit Sauerstoff und hat bei $+4^{\circ}\text{C}$ die Dichte $1,1\text{ g/cm}^3$. Heilwasser (Mineralwasser) enthalten Heilstoffe wie Kohlendioxid, Schwefelwasserstoff, Bittersalz, Radium. Meerwasser enthält durchschnittlich 3-4% Salze (besonders Kochsalz), wird durch Destillation genießbar. Trinkwasser darf weder Ammoniak noch salpetrige Säure enthalten, da diese von verwesenden organischen Stoffen herrühren.

CHEMISCHE GRUNDGESETZE ¹⁾

Gesetz von der Erhaltung des Stoffes (der Materie, der Masse)

Die gesamte Masse der an einem chemischen Vorgang beteiligten Stoffe bleibt unverändert (1. chem. Grundgesetz). Es wird veranschaulicht durch chemische Gleichungen, nach denen bei jeder chemischen Reaktion weder ein Gewinn an Masse noch ein Verlust an Masse feststellbar ist: Summe der Massen der Ausgangsstoffe = Summe der Massen der neu entstandenen Stoffe.

Gesetz von den konstanten Gewichtsverhältnissen. Die Gewichtsmengen und damit auch die Massen der an einem chemischen Vorgang beteiligten Stoffe stehen zueinander in einem bestimmten (konstanten) Verhältnis (2. chem. Grundgesetz). Es wird veranschaulicht durch chemische Formeln, nach denen chemische Verbindungen die sie aufbauenden Grundstoffe (Elemente) in bestimmten festen (konstanten) Gewicht- oder Massenverhältnissen enthalten. So enthält NaCl Natrium und Chlor stets im Verhältnis der Atomgewichte beider Stoffe, CuCl = Kupfer und Chlor stets im Verhältnis des Atomgewichts des Kupfers zum doppelten Atomgewicht des Chlors.

Gesetz der mehrfachen (multiplen) Gewichtsverhältnisse. Vermögen zwei Stoffe in mehreren Gewichts- oder Massenverhältnissen sich miteinander verbinden, so stehen die Massen des einen Stoffes, die sich mit der gleichen Masse des anderen Stoffes verbinden können, zueinander in einem ganzzahligen Verhältnis (3. chem. Grundgesetz). So verhalten sich z.B. die Sauerstoffmengen, die im Wasser, H_2O , und im Wasserstoffperoxid, H_2O_2 , mit 2 Atomen Wasser-

1) H. Remy, Grundriss der anorganischen Chemie, Leipzig, 1956.

stoff, H_2 , verbunden sind, wie $O:O_2 = 16:32 = 1:2$; auch die Sauerstoffmengen, die im Kohlenoxid, CO und im Kohlendioxid, CO_2 , an ein Kohlenstoffatom, C , gebunden sind, bilden miteinander das ganzzahlige Verhältnis $1:2$.

Atombau, Valenz, Kristallstruktur ¹⁾

Die Erforschung der radioaktiven Erscheinungen ist von maßgebendem Einfluß gewesen auf die Entwicklung unserer Vorstellungen vom Bau der Atome. Da die Theorie des Atombaus auch für das Verständnis der chemischen Vorgänge von Bedeutung ist, sollen ihre Grundzüge hier ganz kurz dargestellt werden.

Bestandteile des Atoms. Dividiert man die elektrische Ladung, die auf 1 g-Äquivalent eines elektrolytischen Ions entfällt, durch die Avogadro'sche Zahl, so ergibt sich, daß der Quotient gleich ist dem sog. Elementarquantum der Elektrizität, d.h. der kleinsten Einheit, in der die Elektrizität vorkommt. Für gewöhnlich tritt nur die negative Elektrizität in freiem Zustande auf. Die Einzelteilchen der negativen Elektrizität heißen Elektronen. Ihre Masse beträgt rund $1/1800$ von der Masse des Wasserstoffatoms. Schnell bewegte Elektronen bilden die Kathodenstrahlen und die β -Strahlen. Nach obigem spaltet jedes einzelne Atom, wenn es in ein einwertiges positives Ion übergeht, 1 Elektron ab. Wenn ein Atom in ein n -wertiges positives Ion übergeht, nimmt es n Elektronen auf. Hieraus ergibt sich, daß die Atome aufgebaut sind aus positiver Elektrizität, die mit ihrer Masse für gewöhnlich unlösbar verbunden ist, und aus Elektronen, von denen aus wenigstens ein Teil bei dem Übergang des Atoms in ein Ion bzw. bei chemischen Umsetzungen abgespalten werden

1) H. Remy, Grundriss der anorganischen Chemie, Leipzig, 1956.

kann.

Untersuchungen über den Durchgang von Kathodenstrahlen durch Materie führten 1903 Lenard zu dem Schluß, daß die positive Elektrizität nur einen verschwindend kleinen Teil des gesamten von dem Atom eingenommenen Raumes erfüllt. Zu demselben, quantitativ vertieften Schluß gelangte 1913 Rutherford auf Grund von Beobachtungen über den Durchgang von α -Strahlen durch dünne Metallblättchen und durch Gase. Man bezeichnet im Anschluß an ihn den Teil des Atoms, der von der positiven Elektrizität im Verein mit der Masse eingenommen wird, als den "Kern" des Atoms. Aus den Versuchen mit α -Strahlen ergab sich, daß der Kerndurchmesser, selbst bei schweren Atomen, weniger als 1/10 000 des Atomdurchmessers betragen muß. Ferner ergab sich, daß die Kernladungszahl d.h. die Anzahl der positiven Ladungen des Kerns, für ein jedes Atom gleich dessen Ordnungszahl im Periodensystem ist. Den vom Kern nicht ausgefüllten Raum nennt man die Hülle des Atoms. Die Zahl der in ihr befindlichen Elektronen muß, wenn das Atom als ganzes ungeladen ist, gleich der Kernladung sein. Es ergibt sich also der Satz:

Ordnungszahl = Kernladungszahl = Anzahl der Elektronen
in der Atomhülle.

Theorie der heteropolaren Bindung. W. Kossel wies 1916 darauf hin, daß die im Periodensystem in nicht sehr weitem Abstände von den Edelgasen stehenden Elemente bei der Betätigung ihrer elektropositiven und elektronegativen Höchstwertigkeiten jeweils die gleiche Elektronenzahl aufweisen wie das ihnen vorausgehende bzw. auf sie folgende Edelgas. Z.B. hat Schwefel (Ordnungszahl 16) als neutrales Atom 16 Elektronen. In der Schwefelsäure ist er sechsfach elektropositiv aufgeladen, d.h. sein Atom hat 6 Elektronen abgespalten, besitzt demnach nur noch 10 Elektronen (wie Neon). Im Schwefelwasserstoff bzw. in den Sulfid-

den ist Schwefel elektronegativ zweiwertig, das Schwefelatom hat also in diesem Falle 2 Elektronen aufgenommen. Das Ion S^{-2} besitzt demnach im ganzen 18 Elektronen (wie Argon). Entsprechend besitzt Chlor in der Säure $HClO_4$ 10 Elektronen und als Cl^{-1} -Ion 18 Elektronen. Das Na^{+1} -Ion besitzt gleichfalls 10 Elektronen, das K^{+1} -Ion 18, also haben wir auch hier wieder in den aufgeladenen Atomen die Elektronenzahlen, die in den benachbarten Edelgasen (Neon bzw. Argon) vorliegen. Entsprechendes gilt für andere Elemente. Daß Chlor und Natrium sich miteinander zu Natriumchlorid verbinden, hat nach Kossel seinen Grund darin, daß das Chlor das Bestreben hat, unter Aufnahme eines Elektrons die durch besondere Stabilität ausgezeichnete Elektronenanordnung auszubilden, die im Argon vorliegt, während das Natrium sein außerhalb der Neonschale gebundenes Elektron leicht abgibt. Nachdem die Atome durch diesen Elektronentausch sich gegenseitig aufgeladen haben, haften sie aneinander dem Gesetze gemäß, daß entgegengesetzt geladene Körper sich gegenseitig anziehen. So liefert die Kosselsche Theorie eine sehr einleuchtende Erklärung für das Zustandekommen vor allem derjenigen Verbindungen, die man als "heteropoläre" Verbindungen bezeichnet, d.h. der Verbindungen, in denen die Bestandteile entgegengesetzt aufgeladen sind. Die Kosselsche Theorie erklärt aber nicht allein deren Zustandekommen, sondern sie ermöglicht auch Aussagen über die Eigenschaften der heteropolaren Verbindungen, z.B. über den sauren oder basischen Charakter der Hydroxide. Die S. 261 angeführte Regel über die Abhängigkeit des sauren und basischen Charakters der Hydroxide von der Stellung im Periodensystem läßt sich aus der Kosselschen Theorie ableiten, desgleichen die Regel über die Abhängigkeit der Stärke der Wasserstoffsäuren von ihrer Stellung im Periodensystem. Auch das Zustandekommen von Verbindungen höherer Ordnung wurde von Kossel im Prinzip

aufgeklärt. Z.B. findet die Bildung des Komplexions (PtCl_6^{--2}) aus PtCl_4 und 2Cl - ihre Erklärung darin, daß wie sich zeigen läßt, mehr Energie frei wird, wenn an eine 4 Ladungen tragende Kugel 6, als wenn nur 4 entgegengesetzt einfach geladene Kugeln herangeführt werden. In entsprechender Weise läßt sich die Bildung des Ions $(\text{NH}_4)^+$ aus NH_3 und H^+ erklären.

Molekel und Kristall. Aus der Elektronentheorie der Valenz ergibt sich ohne weiteres, daß bei der Bildung einer heteropolaren Verbindung die Bestandteile immer in äquivalenten Mengen miteinander reagieren müssen. Wenn z.B. bei der Bildung von NaCl je ein Na -Atom an ein Cl -Atom ein Elektron abgibt, so kann ein elektroneutraler Stoff nur gebildet werden, wenn positiv und negativ geladene Atome, d.h. also in dem vorliegenden Falle Na^+ und Cl^- - Ionen, in gleicher Anzahl zusammentreffen. Es folgt daraus aber keineswegs, daß die Na^+ - und Cl^- - Ionen paarweise zu Molekeln zusammentreten müssen. In Wirklichkeit ist dies bei den Ionenverbindungen für gewöhnlich auch nicht der Fall.

Bei der Bildung der Ionenverbindungen treten die entgegengesetzt aufgeladenen Atome für gewöhnlich nicht paarweise zu Molekeln, sondern in großer Anzahl unter Bildung von Kristallen zusammen. Es ist ohne weiteres plausibel (und läßt sich durch Berechnung streng beweisen), daß mehr Energie frei wird, d.h. daß stabilere Gebilde entstehen, wenn z.B. im Falle des NaCl nicht jeweils nur 1 Na^+ mit 1 Cl^- zusammentritt, sondern wenn an jedes Na^+ -Ion eine größere Anzahl Cl^- -Ionen sich anlagert und entsprechend an jedes Cl^- -Ion eine entsprechende Anzahl Na^+ -Ionen. Beim Natriumchloridkristall ist dies in der Tat erfüllt.

DER BEGRIFF DES CHEMISCHEN ELEMENTS ¹⁾

Das chemische Verhalten eines Elements und damit die Stellung des Elements im Periodensystem wird, wie die Erscheinung der Isotopie zeigt, nicht durch die Masse des Atomkerns, sondern durch die Ladung des Atomkerns bestimmt. Durch die Kernladungszahl ist ja gleichzeitig die Zahl der Elektronen in der Hülle des (neutralen) Atoms gegeben, und nur diese ist für das chemische Verhalten maßgebend. Die Masse des Atomkerns bzw. das Atomgewicht ist auf das chemische Verhalten im allgemeinen von praktisch gar keinem und selbst in einem extrem liegenden Ausnahmefall (Wasserstoff) nur von ganz untergeordnetem Einfluß. Daher muß die Kernladungszahl bzw. die ihr entsprechende Ordnungszahl als die den Charakter eines chemischen Elements bestimmende Größe angesprochen werden. Demgemäß bezeichnet man die beiden Atomarten des Wasserstoffs H und D als Atomarten des gleichen Elements, obgleich sie sich nach einem in der Chemie üblichen Verfahren (Elektrolyse) voneinander trennen lassen. Mit Rücksicht hierauf bedarf die bisher gebräuchliche Definition der chemischen Elemente als der letzten Bestandteile, zu denen die Zerlegung der Stoffe nach den in der Chemie üblichen Methoden führt, einer Abänderung. Denn unter Zugrundelegung derselben

7 würden die beiden Atomarten des Wasserstoffs als verschiedene Elemente angesprochen werden müssen. An die Stelle derselben hat die Definition zu treten: ein chemisches Element ist ein Stoff, dessen Atome alle die gleiche Kernladung haben.

1) H. Remy, Grundrisse der anorganischen Chemie, Leipzig, 1956.

CHEMISCHE VERSUCHE 1)

Verhalten von Natrium und Kalium an der Luft

Durchführung a) zeigt mit einfachen Mitteln die geringe Härte des Metalls und seine große chemische Affinität zu Sauerstoff .

Durchführung a:	Durchführung b:	Durchführung c:
	außerdem:	außerdem:
Natrium	Reagenzglas	Porzellanschälchen
Kalium	Stativ	Bunsenbrenner
Fließpapier	Paraffinöl	Dreifuß
Messer	Sandbad	Tondreieck
Tiegelzange	Bunsenbrenner	
(oder Pinzette)		

Durchführung a: Man entnimmt der Vorratsflasche Kalium bzw. Natrium mit einer Pinzette oder Tiegelzange, trocknet das Metall zwischen Fließpapier und schneidet es mit einem Messer, wobei es mit der Pinzette festgehalten wird.

Ergebnis a: Das sehr weiche Metall läßt sich mit dem Messer schneiden. Die Schnittfläche ist silberweiß und glänzt metallisch. Sehr bald überzieht sie sich mit einer matten Haut. Schneidet man Natrium im Dunkeln, so kann man ein gelbes Leuchten der Schnittfläche wahrnehmen (Lumineszenz).

Durchführung b: Man spannt ein Reagenzglas senkrecht in ein Stativ und schmilzt ein erbsen- bis haselnußgroßes Stück des Metalls in dem Reagenzglas unter Paraffinöl im Sandbade.

1) Stopf, Helmut, Chemische Versuche im Unterricht, Berlin 1958.

Ergebnis b: Es bildet sich eine glänzende Metallkugel; beim Abkühlen bleibt der Metallglanz erhalten.

Erläuterungen: Die Alkalimetalle gehören zu den weichsten Elementen: in der Härteskala nach Mohs haben sie die Werte 0,4 (Na) und 0,5 (K). An feuchter Luft überziehen sich die Alkalimetalle mit einer Kruste von Hydroxid und Karbonat.

Auch beim Aufbewahren in Petroleum bildet sich eine Oberflächenkruste durch Reaktion mit den im Petroleum enthaltenen Sauerstoffverbindungen.

Durchführung c: (Verbrennen von Natrium und Kalium an der Luft): Unter dem Abzug erhitzt man ein haselnußgroßes Stück

a) Natrium

b) Kalium in einem Porzellanschälchen direkt über der Flamme und bewegt, während das Metall schmilzt, die Schale derart, daß sich das geschmolzene Metall flach ausbreitet.

Ergebnis c: Das Metall verbrennt

a) unter gelber,

b) unter violetter Flammenerscheinung.

Erläuterung c: Es bildet sich

a) Natriumperoxid Na_2O_2

b) Kaliumsuperoxid KO_2 .

Ein Teil' des Oxids wirbelt als weißer Rauch auf, ein anderer Teil bleibt als feste Kruste in der Schale zurück. Die zurückbleibende Masse ist hyroskopisch.

Bemerkung c: Die gleiche Reaktion dient zur Beseitigung von Kalium- und Natriumabfällen. Man brennt sie auf einer Asbestpappe oder auf einem Stein unter dem Abzug ab.

NATRIUMPEROXID ALS OXYDATIONS-
MITTEL ¹⁾

Durchführung a:	Durchführung b:
Natriumperoxid	Natriumperoxid
Sägespäne bzw.	Aluminiumpulver
Filtrierpapier	
Vogelfeder	Vogelfeder
feuerfeste Unterlage (Stein)	feuerfeste Unterlage (Stein)
Pipette	Pipette

Durchführung a (Natriumperoxid und Sägespäne): Mit einer Vogelfeder mischt man vorsichtig etwa 15 g Natriumperoxid mit einem halben Volumen Sägespäne, schüttet das Gemisch auf eine feuerfeste Unterlage (Stein) und läßt aus einer Pipette einige cm^3 Wasser auftropfen.

Ergebnis a: Natriumperoxid wird zersetzt; es entsteht Sauerstoff. Die Masse entzündet sich und verbrennt.

Bemerkung: Wenn Sägespäne fehlen, gibt man frisch bereitetes Natriumperoxid direkt auf Fließpapier und fügt einige Wassertropfen zu. Die Masse glüht auf. Das Papier verkohlt teilweise.

Durchführung b: (Natriumperoxid und Aluminiumpulver): Man mischt s e h r v o r s i c h t i g gleiche Volumina Natriumperoxid und Aluminiumpulver mit Hilfe einer Vogelfeder, schüttet das Gemisch auf eine feuerfeste Unterlage (Stein) und läßt aus einer Pipette einige cm^3 Wasser auftropfen.

Ergebnis b: Das Gemisch entzündet sich und verpufft.

Vorsicht! Da Natriumperoxid leicht unter starker

1) Stopf, Helmut, Chemische Versuche im Unterricht, Berlin 1958.

Wärmeentwicklung Sauerstoff abgibt, verkohlen organische Substanzen im Gemisch mit festem Natriumperoxid. Dieses ist also feuergefährlich. Schon beim Herstellen solcher Gemische, besonders aber beim Erwärmen oder nach Zugabe von konzentrierter Schwefelsäure, können heftige Explosionen auftreten. Die beim Sprechen entstehenden Feuchtigkeitströpfchen können bereits die Reaktion auslösen!

Bemerkung: Um die Feuergefährlichkeit zu zeigen, kann man einen Teil des Gemisches an feuchter Luft einige Zeit (aber nicht ohne Aufsicht!) liegenlassen. Es erfolgt Selbstentzündung. Die Zeit bis zur Entzündung hängt vom Feuchtigkeitsgehalt der Luft ab.

HERSTELLUNG VON KALTEMISCHUNGEN UNTER VERWENDUNG VON ALKALICHLORIDEN UND -SULFATEN ¹⁾

Durchführung a	Durchführung b	Durchführung c
Kolben	Kolben	Kolben
Thermometer	Thermometer	Thermometer
kristallisiertes Kaliumchlorid	Natriumchlorid Schnee	kristallisiertes Natriumsulfat
Glasstab	Glasstab	Mörser mit Pistill Salzsäure konz. Glasstab

Durchführung a: Man löst 30 g kristallisiertes Kaliumchlorid möglichst rasch in 80 cm³ Wasser bei Zimmertemperatur.

Ergebnis a: Mit Hilfe eines Thermometers stellt man eine Temperaturerniedrigung um etwa 11° fest.

1) Stopf, Helmut, Chemische Versuche im Unterricht, Berlin 1958.

Durchführung b: Man mischt 100 g Natriumchlorid mit 300 g Schnee.

Ergebnis b: Die Temperatur sinkt bis -21°C .

Erläuterung a und b: Die Lösungswärme von Salzen in Wasser setzt sich aus zwei Komponenten zusammen. Zunächst werden in den Salzkristallen die Ionengitter abgebaut; die Ionen werden frei beweglich; dieser Vorgang ist endotherm (Energieverbrauch!). Bei der Anlagerung von Wasser an die wasserfreien Ionen wird die Hydratationswärme frei (exothermer Vorgang). Je nachdem, ob nun die Gitterenergie, die zum Abbau der Ionengitter verbraucht wird, oder die Hydratationswärme, die bei dem Entstehen der Hydrathüllen frei wird, überwiegt, ist die Lösungswärme eines Salzes negativ oder positiv. Nur Salze mit negativer Lösungswärme können zur Herstellung von Kältemischungen verwendet werden. Der Lösungsvorgang wird durch Umrühren möglichst beschleunigt, damit kein Wärmeaustausch mit der Umgebung erfolgt.

Durchführung c: Man mischt 25 g kristallisiertes Natriumsulfat (gepulvert) mit 60 g konzentrierter Salzsäure.

Ergebnis c: Die Temperaturerniedrigung beträgt etwa 25° .

Erläuterung c: Bei Salzhydraten beobachtet man häufig eine besonders große negative Lösungswärme. Hier sind die Ionen im Kristallgitter schon zum größten Teil hydratisiert, so daß beim Auflösen eines Salzhydrates der endotherme Vorgang des Gitterabbaues den endothermen Vorgang der Hydratisierung bei weitem überwiegt ($\text{Fe}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$: -19kcal/Mol in Wasser). Wird Natriumsulfat-Dekahydrat nicht in Wasser, sondern in konzentrierte Salzsäure gebracht, so tritt nur der endotherme Effekt des Gitterabbaus in Erscheinung. Der Chlornasserstoff hat eine große Affinität zum Wasser und verhindert eine Hydratation der Ionen. Zum Schluß liegt eine Suspension von wasserfreien

Natriumsulfat in Salzsäure vor.

Bemerkungen: Neben den angeführten gibt es noch zahlreiche andere Kältemischungen. So erniedrigt sich die Temperatur z.B. um etwa 35° , wenn man 143 g kristallisiertes Calciumchlorid mit 100 g Schnee mischt, bzw. um etwa 25° , wenn man 30 g Ammoniumnitrat möglichst rasch in 30 cm^3 Wasser (von Zimmertemperatur) löst.

REDUKTION VON SILICIUMDIOXID
DURCH MAGNESIUM ¹⁾

Schwerschmelzbares
Reagenzglas

Reagenzglashalter

Eisenschale

Dreifuß

Tondreieck
Bunsenbrenner

feiner Seesand oder
Kieselgur

Magnesiumpulver

Durchführung: Kieselgur oder feiner Seesand wird gut durchgeglüht und nach dem Abkühlen mit der doppelten Menge Magnesiumpulver vermischt. Man füllt das Gemisch in ein schwerschmelzbares Reagenzglas und erhitzt es.

Ergebnis: Das Gemisch verbrennt mit weißem Licht. Eine grauschwarze Masse bleibt zurück.

Erläuterung: An den Glaswänden setzen sich metallisch glänzende, kleine Kristalle von Magnesiumsilicid (Mg_2Si) ab, die bei Zersetzung an der Luft selbstentzündliche Silane bilden. Die Hauptmasse reagiert nach der Gleichung:

$$2\text{Mg} + \text{SiO}_2 \longrightarrow \text{Si} + 2\text{MgO}.$$

Mit Salzsäure, in der Magnesiumoxid und Magnesiumsilicid löslich sind, Silicium dagegen unlöslich ist, kann man das Silicium aus dem Reaktionsgemisch abtrennen.

1) Stopf, Helmut, Chemische Versuche im Unterricht, Berlin 1958.

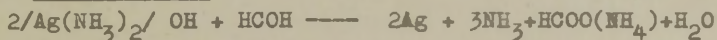
DER SILBERSPIEGEL ¹⁾

<u>Durchführung a:</u>	<u>Durchführung b:</u>	
Reagenzglas	Reagenzgläser	Salpetersäure konz.
Silbernitratlösung	Silbernitrat	Natronlauge konz.
Ammoniak	Ammoniak	2 Bechergläser
Formaldehyd	Traubenzucker	Bunsenbrenner
Bunsenbrenner	Ätznatron	Dreifuß <i>statisch</i>
Chromschwefelsäure	destilliertes Wasser	Asbestdrahtnetz
destilliertes Wasser		

Durchführung a: Ein Reagenzglas wird sorgfältig mit Chromschwefelsäure (Vorsicht! Nicht tropfen und spritzen!) von anhaftenden Fettbestandteilen gereinigt und mit destilliertem Wasser gründlich nachgespült. Dann erwärmt man in ihm gelinde eine Silbernitratlösung, der man so viel Ammoniak zusetzt, daß alles Silberoxid in den Diaminkomplex übergeführt ist. Zu der Lösung gibt man Formaldehyd.

Ergebnis a: An der Wandung des Probierglases scheidet sich ein Silberspiegel ab.

Erläuterung:



Durchführung b: Man löst 1 g Silbernitrat in 10 cm³ konzentriertem Ammoniak und fügt eine Lösung von 1 g Ätznatron in 10 cm³ destilliertem Wasser zu. Die Gesamtlösung kann in einer gut verkorkten braunen Flasche aufbewahrt werden. Nun reinigt man ein Reagenzglas, indem man in ihm zunächst konzentrierte Salpetersäure, anschließend Natronlauge erwärmt und das Glas gründlich mit destilliertem Wasser nachspült. Dann füllt man 5 cm³ der

1) Stopf, Helmut, Chemische Versuche im Unterricht, Berlin 1958.

hergestellten Lösung ein, gibt 0,3 g Traubenzucker zu und stellt das Glas in ein mit heißem Wasser gefülltes Becherglas. Sobald die Silberabscheidung beginnt, hebt man das Glas heraus und setzt es, ohne es zu erschüttern, in ein leeres Becherglas.

Ergebnis: An der Glaswandung bildet sich ein Silber-
spiegel.

Erläuterung: Reduktionsmittel, wie Aldehyde, Traubenzucker und andere Stoffe, reduzieren ammoniakalische Silbernitratlösung zu reinem Silber. Der Silberüberzug sitzt nur dann fest, wenn das Glas absolut sauber und fettfrei ist.

Bemerkung: Will man sich einen Silberspiegel herstellen, so kann man eine Photoplatte benutzen. Man reinigt sie, indem man die photographische Schicht in heißem Wasser aufweicht und abwischt, das Glas mit Putzmitteln behandelt, mehrfach abspült und trocknen läßt. Dann legt man die Platte auf den Boden einer kleinen rechteckigen Glasschale und übergießt die Platte mit dem Lösungsgemisch. Anschließend stellt man die Schale in einen Behälter mit heißem Wasser. Es bildet sich ein Silberspiegel. Dieser kann an unerwünschten Stellen (z.B. auf der Rückseite) durch Lösen in Salpetersäure leicht entfernt werden.

PASSIVIERUNG DES EISENS ¹⁾

2 Eisenstäbe (Stricknadeln) oder 2 Eisenblechstreifen	Salpetersäure konz. (Dichte = 1,48 g/cm ³)
2 Bechergläser	Schwefelsäure verd.

Es empfiehlt sich die Durchführung in einer Küvette mit parallelen, plangeschliffenen Glasplatten und Projektion.

1) Stopf, Helmut, Chemische Versuche im Unterricht, Berlin 1958.

Vorarbeit: Man taucht einen blanken Eisenstab (Stricknadel) oder einen Eisenblechstreifen in konzentrierte Salpetersäure (Dichte = $1,48 \text{ g/cm}^3$).

Durchführung: Man taucht a) den vorbehandelten Eisenstab, b) einen nicht vorbehandelten Eisenstab in ein mit verdünnter Schwefelsäure gefülltes Becherglas; beide Stäbe dürfen sich nicht berühren.

Ergebnis 1: Am Stab b entwickelt sich Wasserstoff, am vorbehandelten Stab a hingegen nicht.

Erläuterung: Durch die Vorbehandlung wird das Eisen passiviert. Passivierte Metalle verhalten sich edler, als ihnen ihrer Stellung in der Spannungsreihe nach zukommt. Da Eisen unedler ist als Wasserstoff, müßte es aus Säuren Wasserstoff entwickeln und selbst in Lösung gehen. Passiviertes Eisen zeigt diese Reaktion nicht. Wahrscheinlich beruht die Passivität auf einer besonderen Elektronenkonfiguration an der Oberfläche; zerstört man diese an einer Stelle z.B. durch Schlag oder durch Berührung mit aktivem Eisen (Lokalelementbildung), so ist die Passivität des ganzen Stückes aufgehoben.

Weiterführung 2: Man läßt beide Eisenstäbe sich berühren.

Ergebnis 2: Die Passivierung des Eisens ist aufgehoben; an beiden Stäben entwickelt sich Wasserstoff.

Weiterführung 3: Ein passivierter Eisenstab, an dem sich kein Wasserstoff entwickelt, wird durch kräftigen Schlag erschüttert.

Ergebnis 3: Die Passivierung des Eisens ist ebenfalls aufgehoben; es entwickelt sich Wasserstoff.

GALVANOPLASTIK ¹⁾

Vorarbeiten:

Gipsabguß einer Münze
oder einer kleinen
Plastik
Becherglas

Dreifuß
Asbestdrahtnetz
Bunsenbrenner
Paraffin

a) Graphitpulver
Pinzel

b) Silbernitrat
destilliertes Wasser
Ammoniak
Alkohol (96%ig)
Becherglas
Pinzel
größeres Becherglas
Schwefelwasserstoff-
entwickler

Durchführung:

Glastrog (Aquarium)
2 Kupfer- (oder Messing-)
stäbe
2 Kupferdrähte
2 Klemmen
2 Stecker
Kupferblech

Gleichstromquelle
Regulierwiderstand
Amperemeter
Kupferdrähte zum Auf-
hängen der Abgüsse
Kupfersulfatlösung
Schwefelsäure

Vorarbeiten: Von einer kleinen Plastik oder von einer Plakette wird zunächst ein Gipsnegativ und von diesem ein Gipsabguß hergestellt. Nach dem vollkommenen Erhärten wird der Gipsabguß durch Tränken in verflüssigtes Paraffin wasserundurchlässig gemacht. Dann wird er mit einem leitenden Überzug versehen:

a) Man pinselt ihn an der Reliefseite mit Graphitpulver gleichmäßig ein

oder

b) Man löst 1 g Silbernitrat in 2 g destilliertem Wasser, fügt 2,5 g Ammoniak und zuletzt 3 g Alkohol

1) Stopf, Helmut, Chemische Versuche im Unterricht, Berlin 1958.

(96%ig) zu. Mit diesem Flüssigkeitsgemisch überpinselt man den Gipsabguß an der Reliefseite und läßt den Überzug fast eintrocknen. Dann hängt man den Abguß in ein Gefäß, in das man Schwefelwasserstoff einleitet, wodurch sich ein gleichmäßiger, dünner Überzug von Silbersulfid Ag_2S bildet, das den Strom gut leitet.

Durchführung: Der leitend gemachte Gipsabguß wird in ein galvanisches Bad eingehängt. Die Elektrolyse muß so lange laufen, bis sich eine feste, formbeständige Kupferhaut gebildet hat. Sie kann auf dem Gipsabguß verbleiben oder auch abgezogen und mit Metall hintergossen werden (Herstellung von Galvanos für Buchdruckzwecke).

DEHNBARKEIT UND SPRÖDIGKEIT DES ZINNS ¹⁾

<u>Durchführung a:</u>	<u>Durchführung b:</u>	<u>Durchführung c:</u>
Zinn in Stangenform	Zinn Hammer Amboß (oder feste Unterlage)	Eisenschale 2 Dreifüße 2 Bunsenbrenner Eisenmörser mit Pistill 2 Tiegelzangen

Durchführung a: Zinnstangen werden wiederholt hin und her gebogen.

Ergebnis a: Das Zinn läßt sich in kaltem Zustand biegen, wobei das "Zinngeschrei", ein eigentümliches Knirschen, hörbar wird.

Durchführung b: Zinn wird in kaltem Zustand kräftig mit dem Hammer bearbeitet.

Ergebnis b: Zinn ist duktil; es läßt sich in kaltem Zustand zu dünnem Blech ausschlagen.

1) Stopf, Helmut, Chemische Versuche im Unterricht, Berlin 1958.

Durchführung c: Man erhitzt Zinnstangen in einer flachen Eisenschale bis nahe zum Schmelzpunkt (Schmelzpunkt $231,8^{\circ}\text{C}$). Dann packt man ein erhitztes Stück mit zwei Stangen und versucht es zu brechen. Schließlich versucht man, die erhitzte Stange in einem vorher genügend erwärmten Eisenmörser zu zerstoßen.

Ergebnis c: In heißem Zustand läßt sich das Zinn zerbrechen und zu Pulver zerstoßen.

Erläuterung: Die Änderung der physikalischen Eigenschaften ist auf das Vorhandensein mehrerer Modifikationen zurückzuführen:

$13,2^{\circ}\text{C}$	161°C
-Zinn	-Zinn
graues Pulver	tetragonal
	-Zinn
	rhombisches Zinn
	sehr spröde,
	läßt sich (am
	besten bei etwa
	200°C) zu Pulver
	zerstoßen

Bemerkung: Auf dem geschmolzenen Metall beobachtet man die Bildung einer dünnen Oxydhaut. Beim Zurückschieben der Haut bildet sich diese auf der Schmelze sofort wieder neu.

MIKROCHEMISCHER NACHWEIS ¹⁾

Mikroskop
Objektträger

Bleisalzlösung
Bunsenbrenner
Tiegelzange

dazu

a) Kaliumjodid

b) Kupferazetatlösung
Eisessig
Ammoniumazetatlösung
gesättigte Kalium-
nitratlösung

1) Stopf, Helmuth. Chemische Versuche im Unterricht, Berlin 1958.

Durchführung a: Man gibt einen Tropfen der Bleisalz-
lösung auf einen Objektträger und setzt ein Körnchen
Kaliumjodid (KJ) zu.

Ergebnis a: Es bilden sich zitronengelbe Kristalle
von Bleijodid (PbJ_2) in Form regulärer Dreiecke mit abge-
stumpften Ecken. In auffallendem Licht zeigen die Kristalle
Perlmutterglanz. Nach einiger Zeit wandeln sie sich in
Nadelbündel um.

Bemerkung a: Man achte darauf, daß nicht zu viel
Reagenz zugegeben wird! Im Überschuß des Fällungsmittels
löst sich PbJ_2 zu farblosen Komplexsalzen. Beim anschlie-
ßenden Verdünnen scheidet sich Bleijodid wieder ab, falls
der Überschuß an Reagenz nicht zu groß ist.

Durchführung b: Ein Tropfen Bleisalzlösung (bzw.
Untersuchungsflüssigkeit) wird mit einem Tropfen Kupfer-
acetatlösung vermischt und auf dem Objektträger über der
Flamme zur Trockne eingedunstet. Inzwischen vermischt man
gleiche Teile Wasser, Eisessig und Ammoniumacetatlösung
und gibt zu dem Gemisch die gleiche Menge einer gesättig-
ten Kaliumnitratlösung.

Nach dem Erkalten wird ein Tropfen des angesetzten
Gemisches neben den Rückstand auf dem Objektträger ge-
geben. Durch leichtes Neigen läßt man die Flüssigkeit
über den Rückstand fließen.

Ergebnis b: In der tiefgrünen Flüssigkeit scheiden
sich leber- bis dunkelbraune bzw. schwarze Würfel ab.

Bemerkung b: Durch Verdünnen des Reagens werden
größere Kristalle erzielt, doch gleichzeitig wird die
Empfindlichkeit der Reaktion vermindert.

ARBEITS- UND GESUNDHEITSSCHUTZ IN LABORATORIEN ¹⁾

Arbeiten unter Druck und Vakuum

1. Autoklaven

a) Laufende Arbeiten mit Druckgefäßen über 2 Liter Inhalt und einem Betriebsdruck von 0,5 atü sowie alle Hochdruckversuche dürfen nur in einem besonderen Arbeitsraum vorgenommen werden.

b) Bei Versuchen, deren gefahrlose Durchführung nicht mit Bestimmtheit zu erwarten ist, müssen die Bedienungslleute durch zweckmäßige Schutzvorrichtungen gegen einen etwaigen Zerknall der Apparatur geschützt sein.

2. Bombenröhren

Bombenröhren sind sofort nach dem Zuschmelzen in die eisernen Schutzhülsen zu legen. Nach dem Versuch dürfen sie erst nach völligem Erkalten aus dem Schießofen, und zwar mitsamt der Schutzhülle, genommen werden. Aus der Schutzhülle dürfen sie erst nach dem Öffnen und nach völliger Entgasung entfernt werden.

3. Druckgasflaschen

a) Flaschen für verdichtete Gase sind liegend aufzubewahren oder gegen Umfallen zu sichern, z.B. durch Ketten oder Rohrschellen. Flaschen für verflüssigte Gase sind nur stehend zu lagern und zu verwenden. Gefüllte Flaschen sind vor starker Erwärmung (z.B. Dampfheizung oder Sonnenbestrahlung) und vor scharfem Frost zu schützen.

Gefüllte wie leere Flaschen sind bei scharfem Frost besonders vor Stößen und Erschütterungen zu bewahren.

Auch Flaschen mit Azetylen sind zur Vermeidung von

1) H. Pinkert, Unfälle im chemischen Laboratorium sind vermeidbar, Berlin, 1960.

"Azetonspucken" nur stehend zu verwenden und zu lagern. Liegend transportierte Flaschen mit Azetylen sind vor Gebrauch bzw. Entnahme mindestens 1/2 Stunde im geschlossenen Zustande stehend zu halten, damit völlige Beruhigung der Azetonfüllung eintritt.

b) Zur Beschleunigung der Verdampfung sämtlicher verflüssigter Gase dürfen die Flaschen keinesfalls durch offene Flammen, sondern nur durch feuchte, heiße Tücher, dampfbeheizte Wasserbäder, Berieselung und dgl. erwärmt werden. Es ist dafür zu sorgen, daß die Temperatur hierbei 40°C nicht übersteigen kann, notfalls sind temperaturregelnde Thermoelemente zu verwenden.

c) Bei Entnahme verflüssigter Gase aus Druckglasflaschen muß die jeweils zu entnehmende Menge in einem vernünftigen Verhältnis zu dem Druck-Volumen der Flasche stehen (Vereisung!)

d) Beim Umfüllen verflüssigter Gase in kleinere Flaschen ist zur Vermeidung von Überfüllung auf Einhalten des zulässigen Rauminhaltes je kg Füllung (Füllung auf der Waage mit entsprechendem Gewichtsbereich) sowie auf die dem Inhalt entsprechende Kennzeichnung zu achten. Bei brennbaren und auch bei giftigen Gasen darf das Umfüllen vorläufig nur nach eingeholter Zustimmung der technischen Überwachung erfolgen.

e) Nach Gebrauch sind die Ventile gut zu schließen. Gefüllte und entleerte Flaschen dürfen nur mit aufgeschraubter Schutzkappe befördert werden.

f) Der Laboratoriumsleiter hat darüber zu entscheiden, ob Flaschen mit besonders gefährlichem Inhalt nach Arbeitschluß aus den Laboratoriumsräumen entfernt und an anderem Orte aufbewahrt werden müssen.

g) Flaschen mit gesundheitsgefährdenden Gasen sollen möglichst nur in einer solchen Größe verwendet werden, daß die unter den Abzug gestellt werden können.

h) Propangasanlagen oder solche für brennbare ver -

flüssige Gase (z.B. Dimethyläther) sind vor Inbetriebnahme einer Prüfung durch die technische Überwachung zu unterziehen.

4. Arbeiten mit Druckgasen

a) Druckgasschläuche sind mit Schlauchschellen sicher zu befestigen.

b) Beim Einleiten von verdichteten Gasen in Apparaturen, die plötzlichen Druckstößen nicht standhalten können, sind außer dem üblichen Druckminderventil (Reduzierventil) an der Flasche weitere Sicherheitsvorrichtungen (z.B. Schlauchklemme in der Leitung zum Apparat) einzuschalten, um unzulässige Drucksteigerungen zu vermeiden.

c) Die Flaschenventile brennbarer und oxydierender Gase sind vorsichtig zu öffnen und bei etwaiger Entzündung sofort wieder zu schließen.

d) Undichte Druckminderventile (Reduzierventile) dürfen nur angezogen werden, wenn das Flaschenventil geschlossen ist. Schlecht zu öffnende Flaschen dürfen nur durch einen Fachmann behandelt werden.

e) Bei Arbeiten mit brennbaren, die Schleimhaut reizenden oder gesundheitsschädlichen Gasen ist die verwendete Apparatur sorgfältig auf Dichtheit zu prüfen. Größere Mengen von Abgasen der genannten Art dürfen nicht in den Abzug geleitet werden. Gegebenenfalls ist die Apparatur an eine Überdachleitung ohne Absperrorgane anzuschließen.

5. Druckgasflaschen für oxydierende Gase

a) Bei stark oxydierenden Druckgasen, wie Sauerstoff und sauerstoffhaltiges Stickoxidul, sind die Armaturen (Ventile, Manometer usw.) und Dichtungen frei von Öl, Fett und Glyzerin zu halten; auch dürfen sie nicht mit ölhaltigen Putzlappen oder mit fettigen Fingern berührt werden. Bei der Lagerung außer Gebrauch ist dafür zu sorgen, daß Armaturen für Sauerstoff nicht mit Öl oder Fett verschmutzt

werden können. Zum Entfetten benutzte Lösungsmittel sind nach Reinigung durch Abblasen mit Luft zu entfernen.

b) Sauerstoffmanometer müssen die Aufschrift "Sauerstoff! Fettfrei halten!" tragen. Sie dürfen für brennbare Gase nicht benutzt werden und müssen blau gekennzeichnet sein.

6. Arbeiten mit Vakuum

a) Glasgefäße, z.B. Exsikkatoren, die unter Vakuum stehen, müssen vorsichtig behandelt werden. Um Spannungen im Glas zu vermeiden, dürfen evakuierte Glasgefäße nicht einseitig erhitzt werden, auf keinen Fall mit offener Flamme. Dünnwandige Glasgefäße nichtkugelförmiger Form (z.B. Erlenmeyer-Kolben, Stehkolben) dürfen nicht evakuiert werden.

b) Beim Evakuieren von Glasgefäßen sind Schutzmaßnahmen anzuwenden wie: Tragen einer Schutzbrille, Abschirmen des Gefäßes durch Drahtkorb, Tücherumhüllung, Schutzwände und dgl. (Dies empfiehlt sich z.B. auch bei neuen oder längere Zeit nicht benutzten Exsikkatoren und beim Arbeiten mit Dewargefäßen).

c) Bei Verwendung konzentrierter Schwefelsäure als Trockenmittel in Exsikkatoren müssen so viel Glaskugeln, Raschigringe oder dgl. eingefüllt werden, daß sie aus der Säure herausragen.

ARBEITEN MIT FEUER- UND EXPLOSIONSGEFÄHRLICHEN STOFFEN ¹⁾

1. Statische Elektrizität

a) Statische Elektrizität bildet sich durch Reibung oder intensive Berührung und Trennung von Stoffen. Je

1) Stopf, Helmut, Chemische Versuche im Unterricht, Berlin 1958.

nach der Leitfähigkeit entstehen Aufladungen, die zur Funkenbildung und damit zur Zündung brennbarer Gase, Dämpfe, Stäube, Nebel führen können. Bisher wurden folgende Erscheinungen beobachtet:

Bei der Reibung fester Körper, von denen mindestens einer ein Nichtleiter war (z.B. beim Ausschütten körniger, stückiger, pulverförmiger Stoffe, wie Schwefel, Gummi, Kunstharzpreßmassen, Nitrozellulosepulver), beim Abziehen nichtleitender Stoffe von einer Unterlage (z.B. beim Abwickeln von Zellhornfilmen), beim Abreißen von Gummifellen, beim Zerkleinern von nichtleitenden Stoffen beim Bewegen nichtleitender Flüssigkeiten wie Benzin, Äthyläther, Schwefelkohlenstoff, Chloräther (z.B. in Rührwerken, beim Strömen durch Rohre und Ausströmen durch Rohre und Gefäße, bei der Bewegung von Textilstoffen in Benzin), beim Ausströmen verdichteter Gase oder gespannter Dämpfe, die feste Fremdkörper oder Flüssigkeitströpfchen mit sich führen (z.B. Äthylenoxid aus Flaschen), beim Aufwirbeln von Staub usw.

b) Zur Vermeidung elektrischer Aufladung bei den in Laboratorien hauptsächlich vorkommenden Möglichkeiten werden folgende Schutzmaßnahmen empfohlen:

Beim Umfüllen nichtleitender Flüssigkeiten gleichzeitig nur Gefäße verwenden, die entweder Leiter oder Nichtleiter sind (z.B. keine Metalltrichter auf Glasgefäßen oder umgekehrt). Leitende Gefäße oder Geräte (Trichter, Heber usw.) sind auf leitfähige Unterlagen zu stellen oder zu erden.

Zur Anwendung gelangende Ketten müssen aus nichtrostendem Stahl oder Silber sein. An Stelle von Ketten ist auch die Verwendung von Kupferlitze gestattet, die am Ende Knoten mit Kordel aufweisen muß. Möglichst Werkzeuge (Spatel usw.) aus nichtleitendem Werkstoff verwenden. Keine leitfähigen Werkzeuge mit Griff benutzen. Flüssigkeiten

langsam auslaufen lassen und nicht in hohem freiem Fall (z.B. Trichter bis auf den Boden der Gefäße), Verspritzen und Zerstäuben der Flüssigkeit vermeiden. Hände, Maschinenteile, Geräte nicht in Benzin oder anderen leicht brennbaren, schlecht leitenden Lösungsmitteln waschen. Ventile an Druckflaschen usw. langsam öffnen; flüssigkeitsbeladene Gasströme bis zur völligen Verdampfung der mitgeführten Flüssigkeit erwärmen, Einschalten großflächiger geerdeter Metalleileile (z.B. feinmaschiger Drahtsiebe) in die Gasleitung hinter dem Ventil.

2. Arbeiten mit brennbaren Flüssigkeiten

a) Soweit nicht durch den Arbeitsvorgang bedingt, dürfen Arbeiten mit brennbaren Flüssigkeiten nicht in der Nähe von Flammen, von Leuchten oder anderen elektrischen Anlagen nicht explosionsgeschützter Bauart und von ähnlichen gefährlichen Stellen vorgenommen werden. Das gilt auch für das Aufbewahren und Abstellen in offenen Behältern.

b) Da allgemein Lösungsmitteldämpfe schwerer als Luft sind, erfolgt das Abfüllen leicht flüchtiger brennbarer Flüssigkeiten zweckmäßig unter halber Höhe der Tischplatte, da sich am Boden im allgemeinen keine Flammen befinden.

c) Vor dem Auseinandernehmen einer mit brennbaren Flüssigkeiten beschickten Apparatur und vor dem Abfüllen der Vorratsgefäße sind im gefährlichen Umkreis alle Flammen zu löschen und nicht explosionsgeschützte elektrische Betriebsmittel auszuschalten.

d) Beim Verschütten und beim Behälterbruch sind sofort alle in der Nähe befindlichen Flammen zu löschen, bei größeren Mengen im ganzen Raum. Der Raum ist zu lüften und die ausgelaufene Flüssigkeit ihrer Eigenart entsprechend zu beseitigen. Mit Wasser mischbare Flüssigkeiten werden mit viel Wasser verdünnt und dann mit Wischtüchern

aufgenommen. Mit Wasser nicht mischbare Flüssigkeiten werden mit Sägemehl, Filterpapier u. a. aufgenommen und die getränkte Masse sachgemäß vernichtet. Beim Aufnehmen sind unter Umständen Handschuhe und Atemschutzgeräte zu tragen. Ausgelaufene, verflüssigte Gase werden durch starkes Lüften entfernt.

e) Brennbare Flüssigkeiten dürfen nur in kleinen Mengen (unter 250 ccm) offen verdampft werden und nur im geschlossenen Abzug, in dem keine offenen Flammen brennen.

3. Erhitzen brennbarer Flüssigkeiten

a) Bei ausnahmsweisen Arbeiten mit größeren Mengen brennbarer Flüssigkeiten trägt der Versuchsleiter auch in diesen Falle die volle Verantwortung, daß beim Erhitzen solcher Mengen über ihren Flammpunkt alle Vorkehrungen getroffen sind, um einen Brand oder das Entstehen explosibler Dampf-Luft-Gemische zu vermeiden.

b) Brennbare Flüssigkeiten mit Siedepunkten unter 50°C z.B. Petroläther, Äthyläther, Schwefelkohlenstoff) dürfen nicht mit offener Flamme, brennbare Flüssigkeiten mit Siedepunkten von 50° bis 82°C (z.B. Azeton, Methylazeton, Methanol, Äthylazetat, Methylalkohol, Benzol, Cyclohexan) sollen mit offener Flamme nur unter Zwischenhaltung eines Flüssigkeitsbades erhitzt werden, wenn die Gewähr besteht, daß sich die Dämpfe der erhitzten Flüssigkeit nicht an der Flamme entzünden können (z.B. durch Verwendung von Kühlern). Beim Erhitzen brennbarer Flüssigkeiten mit höheren Siedepunkten mittels offener Flamme empfiehlt sich die Zwischenschaltung von Wasser-, Öl- und Sand-, Metall-, Luftbädern und dgl.

Für Flüssigkeitsgemische, wie z.B. Leichtbenzin, Extraktions- und Waschbenzine, die sich in die genannten Gruppen nicht eingliedern lassen, ist die Art der Erhitzung vom Laboratoriumsleiter in Anlehnung an die obige Bestimmung festzusetzen.

c) Beim Erhitzen von Glasgefäßen an offener Flamme soll die direkte Berührung der Gefäße mit der Flamme vermieden werden (z.B. durch Zwischenschaltung eines Asbestdrahtnetzes oder Erhitzung mit elektrischer Heizplatte).

d) Die Bestimmung des Absatzes b) gilt nicht für kleine Mengen bis 50 ccm. Abweichungen von den genannten Bestimmungen sind ferner zulässig, wenn dies bei behördlich vorgeschriebenen, genormten oder auf ähnliche Weise festgelegten Arbeitsverfahren (z.B. bei der Siedeanalyse nach Engel-Übbelohde) erforderlich ist.

e) Zum Erhitzen brennbarer Flüssigkeiten in einem Bad, das den Inhalt des Gefäßes noch zusätzlich aufnehmen kann, über ihren Flammpunkt hinaus, sind nur Glasgefäße mit einem Fassungsraum bis zu 6 Liter zulässig.

Wird mit offener Flamme ohne Zwischenschaltung eines Flüssigkeitsbades erhitzt, dürfen Glasgefäße nur mit einem Fassungsraum von 3 Liter verwendet werden.

In jedem Falle sind die Auffangsschalen oder Wannen bei solchen Arbeiten unterzustellen oder nach Möglichkeit Metallgefäße zu verwenden.

4. Destillieren brennbarer Flüssigkeiten

a) Die Destillation brennbarer Flüssigkeiten ist mit größter Vorsicht, mit Maßnahmen zur Verhütung von Siedeverzug (Siedestäbe, bei Vakuumdestillation Kapillare) vorzunehmen, insbesondere dann, wenn mit offener Flamme destilliert werden muß. Größere Mengen werden zweckmäßig aus Metallgefäßen destilliert. Beim Destillieren größerer Mengen anfallende unkondensierbare Gase und Dämpfe sind in eine Abgasleitung oder in den Abzug zu führen. Bei der Destillation auch kleiner Mengen Äther, Azeton und Schwefelkohlenstoff empfiehlt es sich, die Dämpfe durch einen an der Auffangflasche befestigten Schlauch zum Becken oder zum Abzug hinzuleiten. Der Kühler muß entsprechend der Größe und Beheizung des Kolbens dimensioniert sein.

unterbrechung
b) Bei Unterbrechung oder nach Beendigung einer Destillation mit offener Flamme darf die Apparatur erst nach Löschen des Brenners und nach ausreichender Abkühlung der Apparatur (Entfernen des Heizbades) geöffnet werden.

c) Macht sich bei einer Destillation, gleichgültig, ob unter Normaldruck oder Vakuum, stärkeres Schäumen bemerkbar, so sind, da eine Zersetzung des Kolbeninhalts zu vermuten ist, sofort Heizung und benachbarte Flammen auszuschalten und der Vorgesetzte zu verständigen.

d) Bei Vakuumdestillation darf zur Aufhebung des Vakuums Luft nicht ruckartig, sondern nur langsam eingelassen werden.

✓ 5. Verschiedene Gasexplosionsgefahren

a) Vor dem Entzünden brennbarer Gase, die noch Luft enthalten können (z.B. bei der Entwicklung von Wasserstoff) ist eine kleine, im Reagenzglas entnommene Probe anzuzünden, wobei das Glas zum Schutze der Hände mit einem Tuch zu umwickeln ist.

b) Glasapparaturen, bei denen Explosionsgefahr besteht, sind mit einem Drahtkorb zu umgeben oder durch widerstandsfähige Schutzscheiben (z.B. aus Drahtglas) zu sichern.

c) Azetylen darf nicht mit Kupfer, Kupferlegierungen mit mehr als 65% Kupfer oder Silber in Berührung kommen. Bei der Verwendung von Azetylen und azetylenhaltigen Gasen zu chemischen Reaktionen dürfen auch keine Kupferlegierungen wegen der Gefahr des Herauslösen der Nichtkupfermetalle verwendet werden. Bei Arbeiten mit Azetylen ist darauf zu achten, daß Azetylen mit vielen Schwermetallsalzen Azetylide bildet. Für Rührverschlüsse kein Quecksilber, sondern Paraffinöl verwenden. Ähnliche Vorsicht verlangt das Arbeiten mit Ammoniak.

d) In Lufttrockenschränken, die mit offenen Flammen oder nicht explosionsgeschützten elektrischen Heizkörpern

erhitzt werden, dürfen brennbare Flüssigkeiten nicht verdampft werden und Rückstände, die noch brennbare Flüssigkeiten enthalten, nicht getrocknet werden [das gleiche für das Trocknen brennbarer Substanzen, die sich beim Herunterfallen auf die Heizplatte entzünden können.]

e) Auf den guten Zug in den Abzügen ist zu achten, damit keine Dampf- und Gasexplosionen auftreten können.

f) Versuche, bei denen Gasflammen benötigt werden, dürfen im Laboratorium ohne ständige Aufsicht über Nacht nicht in Gang bleiben.

6. Explosible Stoffe und Gemische

a) Explosible Stoffe und Stoffgemische (dazu gehören u.a. viele organische Nitroverbindungen und Nitrate, Salze der Stickstoffwasserstoffsäure, der Knallsäure, des Azetylens und seiner Derivate, Chlorstickstoffe, feste Diazoniumverbindungen, organische Peroxide, ferner Mischungen oxydierender Substanzen, z.B. Nitrate, Chlorate, konzentrierte Überchlorsäure), mit verbrennlichen oder reduzierenden Stoffen, sind in möglichst kleinen Mengen zu handhaben; Überhitzung, Flammennähe, Funkenbildung, Schlag und Reibung sind zu vermeiden. Schutzbrillen nötigenfalls auch Kopfschutz, Handschuhe und andere Körperschutzmittel sind zu tragen. Unter Umständen sind die mit explosiblen Stoffen sowie die an Nachbarplätzen Beschäftigten durch Schutzwände und dgl. zu schützen.

b) Vorräte an explosiblen Stoffen sind gegen Flammen- und Hitzeeinwirkung gesichert, verschlossen und von den Arbeitsplätzen entfernt, möglichst in einem besonderen Raum aufzubewahren.

7. Peroxide

a) Flüssigkeiten, die zur Peroxidbildung neigen (z.B. Äther, i-Propyläther, ungesättigte Kohlenwasserstoffe, Ketone, Tetralin, Tetrahydrofuran) werden zweckmäßig nur

bis auf einen kleinen Rückstand abdestilliert.

Vorräte dieser Flüssigkeiten sind vor Sonnenbestrahlung zu schützen.

b) Äther (insbesondere i-Propyläther) ist vor Gebrauch nach längerem Stehen auf Peroxid zu prüfen, das gegebenenfalls zu entfernen ist.

Prüfung a) 5 ccm einer kalt gesättigten, wäßrigen Lösung von Benzidin werden mit 5 ccm gesättigter Kochsalzlösung vermischt und mit einigen Tropfen einer stark verdünnten Ferrosulfatlösung (ein Körnchen Ferrosulfat von Stecknadelkopfgröße in 5 ccm Wasser gelöst) versetzt. Ein oder zwei Tropfen schwach peroxidhaltigen Äthers zu dieser Mischung gefügt, geben nach einigen Minuten eine deutliche Blaufärbung, stärker peroxidhaltiger Äther gibt diese sofort.

Prüfung b) Schütteln des Äthers mit Titanschwefelsäure. Bei Anwesenheit von Peroxiden erfolgt Gelbfärbung. Entfernen des Peroxides durch Schütteln mit einer schwefelsauren Eisen (II) sulfatlösung oder mit gepulvertem Kaliumhydroxid.

Glasvorratsgefäße für Äther müssen dunkel gefärbt sein. Zur Vermeidung der Peroxidbildung empfiehlt es sich, den Äther über Kupferspänen oder anderen geeigneten Stoffen aufzubewahren. So kann der Äther auch über einer Lösung aufbewahrt werden, bestehend aus 500 g kristallisiertem Eisen (II) sulfat, 1 Liter destilliertem Wasser, 50 ccm konzentrierter Schwefelsäure.

8. Tiefkühlung

a) Zur Tiefkühlung organischer Flüssigkeiten ist statt flüssiger Luft, die sich beim Stehen immer mehr mit Sauerstoff anreichert, nach Möglichkeit Kohlendäureschnee oder, wo dieser nicht ausreicht, flüssiger Stickstoff zu benutzen. Bei Tiefkühlung mit Kohlendäureschnee und Äther, Alkohol und ähnlichen Flüssigkeiten ist auf

die vorsichtige Zugabe der Kohlensäure zu achten, da durch das Entweichen der gasförmigen Kohlensäure das Lösemittel sehr leicht heftig aufschäumt, überläuft und Veranlassung zu Bränden gibt.

b) Läßt sich die Verwendung flüssiger Luft für diesen Zweck nicht vermeiden, soll sich die organische Flüssigkeit in einem unzerbrechlichen Gefäß befinden. Muß ausnahmsweise ein Glasgefäß benutzt werden, ist dies in ein zweites aber unzerbrechliches Gefäß zu stellen, das eine unbrennbare Flüssigkeit enthält (z.B. Tri- oder Perchloräthylen) und außerdem den Inhalt des Glasgefäßes noch aufnehmen kann.

c) Bei Arbeiten mit flüssigem Sauerstoff, Stickstoff oder flüssiger Luft sind Schutzbrillen zu tragen.

GOLD, PERLEN UND EDELSTEINE AUS DER "RETORTE" ¹⁾

Es sind zwei Papyrusschriften in griechischer Sprache, die beim Absuchen eines Gräberfeldes in der Nähe Thebens entdeckt wurden. In diesen zwei Schriften, die nach ihren jetzigen Aufbewahrungsorten in Leyden und Stockholm "Leydener" und "Stockholmer" Papyri genannt werden und die in ihrer Art wie Rezept- oder Kochbücher angelegt sind, geben unbekannte Meister in über hundert Vorschriften Anweisungen ganz besonderer Art. Sie verraten nicht nur das Geheimnis, wie man aus unedlen Metallen mit Hilfe chemischer Operationen Stoffe herstellen kann, die sich rein äußerlich in nichts vom Gold, Silber oder Asem - einer Silber-Gold-Legierung - unterscheiden, sie beschreiben auch, wie man durch die chemische Kunst

1) I. Strube, Bilder chemischer Vergangenheit, Leipzig/Jena, 1960.

Edelsteine und Perlen fälschen und den kostbaren Purpur nachmachen kann.

Vor rund 2000 Jahren wußten die chemischen Handwerker in ihren eigenen Werkstätten diese Tätigkeit mit großem Geschick und Eifer auszunutzen. Die Märkte wurden mit solchen Mengen an gefälschtem Gold, Silber und Edelsteinen überschwemmt, daß der römische Kaiser Diokletianus sich im Jahre 296 genötigt sah, diesem Treiben energischen Einhalt zu gebieten. Dennoch blühte das Geschäft der chemischen Techniker, der "Techniten", wie sie genannt wurden, weiter.

"Gold" wurde nach den Aufzeichnungen der Papyri auf leichtere Art gewonnen als von den Sklaven in den nubischen Bergwerken. Sie überzogen einfach Kupfer mit Stoffen, die äußerlich dem edlen Metall ähnelten. Drohte diesem "Gold" eine kritische Prüfung, dann überzog man das Kupfer mit einer wachsdichten Lösung von Gold in Quecksilber, erhitzte gelinde, bis das Quecksilber sich verflüchtigt hatte und ein dünner Goldüberzug das Kupfer bedeckte. Man wiederholte das Verfahren vier- bis fünfmal und polierte schließlich noch mit einem feinem, besonders präparierten Leinenlappen nach.

Stand dem "Gold" jedoch keine Nachprüfung bevor, dann begnügten sich die Fälscher damit, auf das Kupfer wiederholt Firnisse aufzutragen, die aus dem roten Zinnober, dem roten Arsensulfid, dem goldglänzenden Schwefelkies, aus Essig, Alaun und Kinderharn hergestellt waren.

Daneben wurden natürlich auch die Edelmetalle durch Mischen mit anderen Metallen "gestreckt". Diplosis=Verdoppelung und Triplosis=Verdreifachung nannten die Techniten diese Kunst. Die Herstellung von Asem ist in über einem Viertel der aufgeführten Rezepte behandelt, "Asem", das durch Zusatz von Zinn, Kupfer und Quecksilber auf das Zwei- oder Dreifache vermehrt wurde. Betrogen war der un-

wissende Käufer, denn die Techniten verstanden sehr wohl, echtes Gold und echtes Silber vom gefälschten zu unterscheiden.

Metallfälschungen waren nicht das einzige Geschäft der Techniten. Sie imitierten auch Edelsteine und kostbare Perlen. Aus fein gepulvertem Marienglas, der durchsichtigen Art des Gipses und aus Fischschuppen schmolzen sie mit Wachs eine teigartige Masse. Diesen Perlenteig kneteten sie mit heißer Kuhmilch durch, in der Eiweiß und Gummi aufgelöst worden waren, formten kleine Kügelchen daraus, bohrten Löcher hindurch und fädelten sie zum Trocknen an langen Schnüren auf.

Die Herstellung künstlicher Edelsteine erforderte noch mehr Kenntnisse und Geschicklichkeit. Zunächst brauchte man dafür Mineralien, deren poröse oder blättrige Struktur geeignet war, Farblösungen aufzusaugen und so die Farbe des gewünschten Edelsteins anzunehmen. Dieses Material, diese "Steinchen", wie sie im Papyrus genannt werden, mußten lange mit chemischen Mitteln behandelt werden, damit sie die gewünschte Tönung gleichmäßig annahmen. Zum Färben stand den Techniten eine Menge Präparate zur Verfügung. Neben den in der Natur gefundenen Farbstoffen, wie Kreide, Gips, Braunstein, dem dunkelgrünen Malachit, der blaugrünen Kupferlasur oder dem roten Realgar, benutzten sie häufig Farben, die sie selbst herstellten.

Kupfer-I und -II-Oxid verwendeten sie als Farbträger für rotbraune und schwarze Tönungen; mit Kobaltoxid erzielten sie blaue, mit Eisen-II und -III-oxid rote bis purpurviolette Farben. Die Techniten färbten diese Steinchen mit Grünspan - aus Kupfer und Essig hergestellt -, mit Zinnober, Roteisenstein, Mennige, mit Schildkröten- und Kälbergalle, mit Schöllkraut- und Maulbeersaft und verkauften sie als Smaragde, Rubine, Granate, Amethyste, Berylle und Chrysolithe.

Das dritte Gewerbe, das sie mit Erfolg betrieben, war die Gewinnung künstlichen Purpurs.

Purpur war während des Altertums der kostbarste Farbstoff, denn nur zwei im Mittelmeer lebende Schneckenarten tragen diesen Farbstoff in einer kleinen weißen Ader mitten im Schlund. Millionen und aber Millionen Purpurschnecken mußte diese winzige Ader entfernt werden, wollte man einige Pfund des hochgeschätzten Farbstoffs gewinnen, denn aus etwa 10 000 Schnecken gewann man nur 1 Gramm. Die Purpurschnecken mußten für die Verarbeitung lebendig sein, denn mit dem Leben verlieren sie auch den färbenden Saft; Ihr Fang war schwierig, denn die eine Art der verwendeten Schnecken lebte auf Felsenriffen. Wer sie sammeln wollte, mußte die heimtückischen, glitschigen Klippen unter ständiger Gefahr, ins Meer zu stürzen, besteigen.

Zur Gewinnung des Purpurs rissen die Farbenkocher den lebenden Schnecken die winzige Ader aus dem Schlund und legten sie drei Tage lang in Salz. Danach kochten sie die Masse in bleiernen Gefäßen so lange, bis aus hundert Eimern fünfhundert Pfund wurden. Etwa am 10. Tage erst war die Masse nach dem Abschäumen der Fleischfasern so weit zergangen, daß die erste Färbeprobe vorgenommen werden konnte.

Den "Scharlachglanz" des Purpurs erhielt man nur, wenn man den Farbsaft beider Schneckenarten miteinander mischte. Um 50 Pfund Wolle zu färben, benötigte man nach den Angaben von Plinius 200 Pfund Farbe von der ersten und 110 Pfund Farbe von der zweiten Schneckenart.

Diesen Purpur zu fälschen war eines der lohnendsten Geschäfte der Rechniten, und der Papyrus gibt eine ganze Reihe von Vorschriften dafür. So sollte man zum Beispiel gut getrocknete, zerkleinerte und gesiebte Krappwurzel - die Wurzel einer dornigen Staudenpflanze, die einen leuchtend roten, aber längst nicht so schönen Farbstoff wie der Purpur liefert - in Regenwasser kochen, Bohnen-

schrot und weiße Tonerde zusetzen. Da hinein sollte die Wolle getaucht werden, die mit Aschenwasser und Tonerde zuvor gut gereinigt, mit Waid bläulich angefärbt worden war. In der Farbflotte sollte man sie unter Umrühren durchkochen, danach alle Farbreste gut mit Alaun ausspülen und im Schatten fern von Rauch, das purpurne Material trocknen. "So schön wie den importierten erhält man den Purpur," rühmt der Papyrus, "wenn man das Gewebe mit Amaranth-Blüten oder Maulbeersaft, mit Eisenschrot und Roteisenstein färbt, dann mit Galläpfeln oder Kalkwasser Glanz gibt und die Farbe mit Soda noch ein wenig abdunkelt..."

DIE ATOME WERDEN "ENTDECKT"
(Leukipp und Demokrit)¹⁾

Leukipp aus Milet lebte etwa von 490 bis 420 v.u.Z., zu einer Zeit, da die Sklavenhaltergesellschaft in Ionien ihren höchsten Entwicklungsstand bereits überschritten hatte. Vor der Zerstörung durch die Perser im Jahre 494 v.u.Z. waren in Milet Gewerbe und Handel stark entwickelt, erzielten die Sklavenhalter durch die Ausbeutung der Sklaven und die rege Handelstätigkeit große Gewinne. Der Reichtum der Stadt spiegelte sich in ihrem kulturellen Leben wider: Milet war prachtvoll ausgebaut worden und hatte die ersten bedeutenden Philosophen hervorgebracht. Als Begründer der altionischen Naturphilosophie sind sie in die Geschichte eingegangen, unter ihnen Thales von Milet, Anaximander, Anaximedes - Philosophen, die zum ersten Male die Frage nach dem Urgrund der Dinge aufgeworfen und diese materialistisch, ohne Zuhilfenahme über-

1) I. Strube, Bilder chemischer Vergangenheit, Leipzig/Jena, 1960.

irdischer Wesen beantwortet hatten.

Großen Einfluß auf die Weltanschauung des Leukipp hatten die Werke des Philosophen Empedokles, der als erster eindeutig und verständlich dargelegt hatte, daß die Welt erkennbar sei. Der Mensch besitzt die Fähigkeit zu ihrer Erkenntnis, denn die Gegenstände wirken ja zur Genüge wahrnehmbar auf seine Sinnesorgane ein. Empedokles hatte sich die Materie so vorgestellt, daß alle Stoffe aus festen Stoffteilchen und Poren aufgebaut seien. Die festen Teilchen würden ständig von Tier und Pflanze, von Erde und Meer, von Stein, Kupfer und Eisen abfließen und in die verschieden gestalteten Poren der Umwelt eindringen.

Mit dieser Porentheorie erklärte Empedokles unter anderem, daß Öl und Wasser sich nicht mischen, weil ihre Poren und Stoffteilchen unsymmetrisch zueinander seien. Die Lehren des Empedokles regten Leukipp zum eifrigen Nachdenken an. Da war die Frage nach dem Werden und Vergehen der Stoffe, die Frage, ob ein Etwas in Nichts vergehen oder ein Etwas aus dem Nichts entstehen könne - behauptete die Religion doch, Himmel und Erde seien aus dem Nichts erschaffen worden. Empedokles hatte sich dagegen gewehrt, daß Etwas aus dem Nichts entstehen könne. Was aber wurde dann mit den Stoffen, die zum Beispiel faulten und vergingen, die rosteten und zerfielen? Sie verschwanden doch für die Sinne?

Empedokles' Lehre von den vier Elementen gab die Antwort: "So groß die Zahl der verschiedenartigen Stoffe auch sein mag," hatte er verkündet, "so besitzen sie doch alle gewisse gemeinsame Eigenschaften, die auf einen Anteil an gemeinsamen Stoffen schließen lassen."

So sind sehr viele Stoffe schmelzbar, werden flüssig und somit der Eigenschaft des Wassers gleich. Daraus folgte er, daß am Aufbau dieser Stoffe im wesentlichen Wasser beteiligt sei. Da viele Stoffe fest und damit der Erde ähnlich sind, folgerte er, daß an ihrem Aufbau im wesent-

lichen Erde beteiligt sei. Andere Stoffe hatten die Eigenschaft der Verdampfbarkeit gemein, die sie der Luft ähnlich machten und somit in der Hauptsache aus Luft aufgebaut sein mußten, und wieder andere ähnelten sich durch ihre Brennbarkeit und mußten daher im wesentlichen das Feuer als Bausteine enthalten.

Die vier Stoffe: Wasser, Erde, Luft und Feuer hatte Empedokles als die Grundbestandteile angesehen, aus denen sich alle anderen Stoffe aufbauten. Elemente nannte er sie, betrachtete sie als unveränderlich und ewig. Er nahm an, daß sie sich zu den verschiedensten Gebilden zusammenlagern konnten und so, in Menge und Form unendlich wechselnd, die unendliche Vielfalt und Verschiedenheit der Stoffe in der belebten wie in der unbelebten Natur hervorbrachten.

Neben der Lehre des Empedokles studierte Leukipp auch die seines Lehrers Zenon.

Zenon war bei seinen mathematischen Überlegungen auf den Begriff der unendlichen Teilbarkeit gestoßen, indem er sich einen beliebigen Körper bis ins Unendliche immer wieder in zwei Hälften zerteilt dachte. Dabei war er zu der Vorstellung von unendlich kleinen Stoffteilchen gelangt, die die Materie aufbauen mußten.

Mit diesen unendlich kleinen Stoffteilchen konnte sich Leukipp nicht abfinden. Wie sollte aus lauter unendlich kleinen Größen etwas Endliches entstehen können? Tage und Wochen hatte er über dieses Problem nachgedacht, bis er den Fehler in Zenons Theorie fand. Leukipp hatte folgendes überlegt: Man kann einen Körper in Gedanken unendlich oft teilen; in Wirklichkeit ist das nicht möglich. Warum nicht? Weil man in der Praxis nur dann ein Ding teilen kann, wenn es neben festen Bestandteilen auch Hohlräume, Leeres enthält. Denn nichts kann dorthin eindringen, wo schon etwas völlig Volles ist. Eine Blume konnte zum Beispiel nur nach

dorthin wachsen, nach dorthin vordringen, wo etwas Leeres war, oder ein glühendes Metall konnte sich nur dadurch beim Erkalten ^{neuer Form} zusammenziehen, daß etwas Hohles, Leeres in ihm vorhanden war.

Wenn Zenon nun behauptete, daß man die Stoffe bis ins Unendliche teilen könne, so bedeutete das, daß sie bis ins Unendliche kleine Hohlräume enthalten mußten; das hieß aber, daß sie überhaupt nur aus aneinanderstoßenden Hohlräumen aufgebaut waren. Dann hätte es aber in der Natur gar nichts Festes geben dürfen, und das widersprach den Tatsachen. Prüfte man Zenons mathematische Überlegungen also an der Praxis, dann erwiesen sie sich als Trugschlüsse. Es mußten in allen Körpern neben Leeren unsichtbare kleine, aber nicht mehr weiter zerlegbare Urbestandteile geben. Diese kleinsten Urbausteine der Materie nannte Leukipp Atome, von *atomos* = unteilbar. Das Volle und Leere mußten danach der Urgrund der Welt sein. Das Volle, die Atome, waren durch ihre Größe, Bewegung und Gestalt voneinander verschieden, bestanden jedoch aus ein und derselben Substanz. Das Leere war nötig für ihre Bewegung, war nötig, damit die Atome darin rotieren, zusammenstoßen, sich zu den verschiedenartigsten Gebilden zusammenlagern oder schon aufgebaute Gebilde wieder zerstören konnten. Mit Hilfe des Vollen und des Leeren konnte er die Vielfalt der Körper erklären. Dabei bedeutete das "Leere" für Leukipp nicht mehr das völlige "Nichts", das unvorstellbare "Gar-nicht-Vorhandensein", sondern es war genau so wirklich wie das Volle oder wie das "Ichts", wie Leukipp es zum Unterschied vom "Nichts" auch nannte. **■**

So wie die Erscheinungen der Welt sich ununterbrochen bewegen und verändern, dachte Leukipp sich auch die Atome in ewiger Bewegung, in einer Bewegung, die nicht - wie bei dem Philosophen Anaxagoras - durch einen ersten Anstoß eines welterweckenden Geistes hervorgerufen worden oder

durch die unnachweisbare Wirkung von dem "Liebe-Haß-Gegensatz" zustande gekommen war, sondern in einer Bewegung, die den Atomen von Ewigkeit an eigen war. Sie stießen aneinander, legten sich zu den verschiedensten Gebilden zusammen und bauten so die verschiedenartigsten Stoffe auf: Wasser, Steine, Metalle, Pflanzen, Tiere, Menschen, Planeten, ganze Welten, und ebenso zerstörten sie diese auch wieder; die gewesenen Gebilde zerfielen, die Atome aber blieben und bewegten sich ewig im leeren Raum, wieder Neues erbauend.

Die materialistische Weltanschauung Leukipps wurde von seinem Schüler Demokrit (460-370 v.u.Z.) ergänzt, aus dessen Schule Gelehrte wie Nausiphan, später Epikur und Lukrez hervorgingen, die den Atomismus weiter entwickelten und verbreiteten. Diese Lehre wurde von der idealistischen Philosophie und den Theoretikern der Kirche als atheis-tisch bekämpft. Obwohl die Schriften von Leukipp und Demokrit verbrannt wurden und wir über ihre Lehren nur indirekt durch ihre Schüler Kunde erhielten, überdauerte die antike Atomistik die Jahrhunderte und wurde zur Zeit der Renaissance von Gelehrten wie Galilei, Descartes, Bayle und Stahl wieder aufgegriffen und zur Erklärung der Naturvorgänge herangezogen.

DAS ERSTE CHEMISCHE SYSTEM WIRD AUFGESTELLT ¹⁾

Aristoteles ist rund 100 Jahre jünger als Leukipp; er stammt aus Stagira in Makedonien und wurde im Jahre 384 v.u.Z. als Sohn des makedonischen Hofarztes Nikomachos geboren. Sein Heimatland Makedonien hatte zu jener Zeit

1) I. Strube, Bilder chemischer Vergangenheit, Leipzig/Jena, 1960.

die Führung unter den griechischen Stadtstaaten an sich gerissen und auch Athen unterworfen. Doch der Name Athen besaß noch immer anziehende Kraft. Aristoteles zog es nach dieser Stadt, in der Bildhauer, Architekten, Philosophen, Schriftsteller und Maler aus ganz Griechenland gewirkt hatten. In den Mauern von Athen lebten Gelehrte wie Plato, die an das Erbe der Vergangenheit anzuknüpfen suchten.

Zu diesen Philosophen ging der 17jährige Aristoteles, um in dessen "Akademie" die philosophischen Lehren Platos und der vorangegangenen Philosophen, um Geometrie und Arithmetik zu studieren. Fast 20 Jahre lang bis zum Tode seines Lehrers Plato weilte Aristoteles in Athen. Nach kurzem Aufenthalt in Assos in Kleinasien kehrte er in sein Heimatland Makedonien zurück. König Philipp von Makedonien hatte ihn zum Erzieher seines Sohnes Alexander auserwählt. Bis zur Erönung des jungen Königs im Jahre 336 lebte Aristoteles in Makedonien, ging dann aber nach Athen zurück, um hier eine eigene Philosophenschule zu begründen und eine große Bibliothek aufzubauen.

Unermüdlich arbeitete Aristoteles an seinen Schriften die fast das ganze antike Wissen umfaßten.

Mit großer Gründlichkeit bemühte sich Aristoteles, in dem naturwissenschaftlichen Beobachtungsmaterial analoge Prozesse zu erkennen, Gesetzmäßigkeiten herauszufinden und die Naturvorgänge zu erklären. Von den Ägyptern und Griechen kannte er die Kunst des Bergbaus, von den Chalybern die der Stahlerzeugung. Mit großer Ausdauer studierte er die Werke der Geschichtsschreiber. Besonders aufschlußreich waren ihm dabei die ausführlichen Berichte Herodots über die Natur anderer Länder und die Vielfältigkeit ihrer Ausnutzung durch die Menschen.

Aristoteles jedoch begnügte sich nicht nur mit den Berichten, sondern ging auch selbst in die großen Werkstätten, in denen oft bis zu hundert Sklaven aus den verschiedensten Wurzeln und Stauden kochten. Er schaute den

den Glasmachern zu, die farbige Mineralien zerrieben, sie mischten, das Glas schmolzen und es mit Hilfe dieser Farben so geschickt und kunstvoll zubereiteten, daß man die erstarrten Glasflüsse kaum von Edelsteinen unterscheiden konnte. Selbst experimentierte Aristoteles jedoch nicht.

Ebenso wie Leukipp hatte er die alten Mythen von der Erschaffung der Welt längst überwunden. Doch er vermochte sich nicht einer ihrer Theorien vorbehaltlos anzuschließen.

Die Lehre Empedokles', nach der die vier Elemente Feuer, Wasser, Luft und Erde als unveränderliche Urbau- steine der Welt angenommen wurden, schien ihm deswegen unvollkommen zu sein, weil sie die gegenseitige Umwandel- barkeit dieser vier Elemente ausschloß, weil sie zum Bei- spiel unermöglich war, zu erklären, wieso sich "Wasser" völlig in "Luft" verwandeln konnte, wenn man Wasser in einem offenen Gefäß kochte, bis nichts mehr vorhanden war.

An den atomistischen Vorstellungen Leukipps und Demokrits kritisierte er, daß sie mit den nur in Form und Größe verschiedenen Atomen niemals die an den Dingen wirk- lich beobachteten Unterschiede erklären könnten, daß sie für die ewige Bewegung der Atome keine Ursache angegeben hätten und schließlich, daß die unendliche Vielgestaltig- keit der Atome zu einer Unerkennbarkeit der Materie führen müsse.

Doch wie erklärten sich alle die verschiedenartigen Naturvorgänge, die er beobachtet und von denen er gelesen hatte?

Ganz sicher war es, daß den Stoffen die verschieden- sten Eigenschaften innewohnten. Sie waren fest, flüssig und schmelzbar, sie widerstanden dem Feuer oder veränder- ten sich darin: manche verdampften, andere verfärbten sich oder verbrannten und erzeugten dabei selbst Feuer. Worauf mochte dieses unterschiedliche Verhalten beruhen? Warum wurde das Kupfer schwarz und brüchig, wenn es im Feuer

1923
glühte? Warum bewahrte das Gold seine Reinheit und seinen Glanz auch in der stärksten Glut? Was geschah mit dem Wasser, das man in einem Gefäß erhitzte, bis alles daraus verschwunden war? Warum verbrannten Holz und Knochen, Wasser dagegen nicht?

Trotz der Vielfältigkeit im Verhalten der Stoffe ließen sich ihre Eigenschaften auf die vier Hauptkategorien Feuer, Wasser, Luft und Erde zurückführen. Empedokles' und Leukipps Annahme von den vier Elementen schien also nicht völlig unberechtigt, denn in irgendeiner Weise waren sie doch in den verschiedensten Stoffen vorhanden. Eine große Zahl der festen Stoffe ließ sich schmelzen, flüssig machen. Mußten sie nicht Wasser, den Prototyp des Flüssigen, enthalten? Sehr viele Stoffe ließen sich verbrennen; also mußten sie Feuer enthalten. Andere wieder, wie zum Beispiel das Wasser, konnte man verdampfen; am Aufbau des Wassers mußte also Luft beteiligt sein. Und was war die Asche, die beim Verbrennen von Holz oder Knochen übrigblieb, anderes als Erde, als ein Stoff, der nicht brannte und sich in Wasser nicht löste? Also mußte auch die Erde in den Stoffen enthalten sein!

Die vier Elemente erklärten damit hinreichend die wesentlichsten Grundbestandteile der Stoffwelt, und diese Grundbestandteile ließen sich durch ganz bestimmte Eigenschaften charakterisieren: Feuer war warm und trocken, Luft warm und feucht.

Dennoch durfte man sie nicht als die letzten unveränderlichen Grundbausteine ansehen, denn sie selbst waren ja ineinander umwandelbar. Dieses Problem mußte zunächst offen bleiben, denn zuvor galt es, die Frage nach der Umwandelbarkeit der Elemente zu beantworten.

Nach langem Grübeln fand Aristoteles die Antwort. Gab es denn in der belebten Natur nicht ähnliche Erscheinungen? Wurde dort nicht auch immer wieder etwas Neues hervorgebracht, das man zunächst nicht wahrnehmen konnte?

Verborg nicht jede Knospe in ihrem Innern die unsichtbare Blüte, die unter den warmen Sonnenstrahlen hervorsprießen würde? Enthielt nicht jedes Samenkorn eine ganze Pflanze, die man nicht sah und die doch irgendwie darin enthalten sein mußte?

Auch die Elemente, die am Aufbau aller Stoffe beteiligt waren, traten erst unter ganz bestimmten Bedingungen hervor. Sie waren der bloßen Möglichkeit nach in den Stoffen enthalten, die sich erst unter bestimmten Bedingungen verwirklichte; "potentiell" waren sie in den Dingen vorhanden, und unter bestimmten Bedingungen traten sie hervor, wurden sie "aktuell".

Feuer war also potentiell in Knochen enthalten. Es konnte aktuell werden, wenn die Knochen stark erhitzt wurden. So enthielten auch die Metalle potentiell Wasser. Unter ganz bestimmten Umständen, wenn man sie bis zur Schmelztemperatur erwärmt, trat dieses Wasser als das Flüssige aktuell in Erscheinung. Ähnlich verhielt sich auch das Wasser. Erwärmte man es in offenen Gefäßen, dann verschwand die Luft, die es potentiell enthielt; unter der Einwirkung der Wärme verwandelte sich die potentielle Luft in aktuelle.

Diese Grundgedanken entwickelte Aristoteles zur Lehre vom Aufbau der Stoffe. Danach sollten die Metalle vorwiegend aus Wasser und Erde bestehen, denn wenn man sie erhitzte, schmolzen sie zuerst; setzte man sie aber längere Zeit einer hohen Temperatur aus, dann verwandelten sie sich in erdige ascheartige Stoffe.

Noch eine letzte Frage mußte Aristoteles klären: den "potentiellen" Zustand der Elemente.

Waren die Elemente dadurch charakterisiert, daß sie nicht aktuell (nicht wirklich) waren, jedoch unter bestimmten Umständen als etwas Wirkliches hervortreten konnten, so mußte auch erklärt werden, worin jenes Aktuelle vorher

enthalten war. Irgendwo mußte es ja einen Sitz haben.

Als diesen Sitz der Elemente, als den Stoff, der das "Mögliche" enthielt und es ins "Wirkliche" übersetzte, betrachtete Aristoteles die Urmaterie. Sie war das "Gestaltlose", das unter dem Einfluß einer gestaltgebenden Kraft zu Erde, Feuer, Wasser, Luft wird, bestimmte Stoffe mit diesen Eigenschaften bilden konnte. Aus dieser form- und eigenschaftslosen Materie, die potentiell Feuer, Wasser, Luft und Erde beinhaltete, wurden die Elemente unter gewissen Umständen aktuell. Die eigenschaftslose Urmaterie war der Urgrund aller Dinge, aus der sich unter dem Einfluß einer gestaltgebenden Kraft die vier Elemente bildeten. Diese vier Elemente waren somit nicht der unveränderliche Urgrund, sondern konnten sich ebenfalls verändern. So ließen sich alle Elemente ineinander umwandeln und die Schwierigkeit der Empedokleischen Lehre war beseitigt. Das wurde ganz deutlich sichtbar, wenn man die vier Elemente mit ihren verschiedenen Eigenschaften in einen Kreisprozeß hineinstellte. Die Übergänge Erde in Feuer, Feuer in Luft, Luft in Wasser, Wasser in Erde verliefen danach leicht, weil zur Umwandlung der Elemente nur die Umwandlung einer Eigenschaft nötig war, eine jeweils als Anknüpfungspunkt erhalten blieb. Die Umwandlungen Erde in Luft und Feuer in Wasser dagegen erforderten die Veränderungen beider Eigenschaften und vollzogen sich deshalb sehr schwierig oder gar nicht.

Als Beispiel für die Verwandlung der Elemente führte Aristoteles die Verwandlung des Wassers beim Erhitzen an: Erwärmte man das Wasser, so bewirkte die Veränderung der Eigenschaft kalt in warm eine Verwandlung des Wassers in Luft; das Wasser verschwand völlig aus einem offenen Gefäß, wenn man es lange genug erwärmte.

Alle in der Welt vorkommenden Stoffe, dachte sich Aristoteles aus den vier Elementen aufgebaut, in wechselnden Mengen, mit dieser oder jener Eigenschaft, diesem oder

jenem Element überwiegend. Unendlich viele verschiedene mengenmäßige Kombinationen der vier Elemente waren damit möglich und so die Vielfalt der Erscheinungswelt erklärt. "Knochen", so lehrte er, "enthalten einen überwiegenden Anteil an Feuer und Erde, und zwar kommen auf drei Teile Feuer zwei Teile Erde."

Die Metalle sollten vorwiegend aus Erde und Wasser aufgebaut sein; nur ein einziges machte eine Ausnahme: das Gold. Gold enthielt keine Erde, denn wenn man es noch so lange glühte, nie wurde es zu Erde, zu Asche; immer behielt es seinen leuchtend roten Glanz.

Das Quecksilber, das nicht wie andere Metalle fest ist und erst bei starker Kälte erstarrt, enthielt nach Aristoteles neben Erde und Luft noch beträchtliche Mengen an Luft.

Daraus, daß sich Aristoteles alle Metalle vorwiegend aus den gleichen Elementen aufgebaut dachte, erklärte er auch ihre nahe Verwandtschaft und ihre angebliche Fähigkeit sich in andere Metalle zu verwandeln. Als Beispiel führte Aristoteles die Legierung von Kupfer mit Zinn zu Bronze an. Messing und Bronze betrachtete er als völlig neue Metalle, da sie nicht mehr die Eigenschaften der Ausgangsmetalle zeigten.

So machte Aristoteles mit seiner Elementenlehre den Zusammenhang zwischen den Naturvorgängen sichtbar und ordnete die Stoffe in einer bestimmten Weise nach ihrer Brennbarkeit, Schmelzbarkeit, Flüchtigkeit oder Feuerbeständigkeit.

Daß sich dabei auch viele phantastische Erklärungen mit einschließen, ist nicht verwunderlich. Wohl genügte das vorliegende naturwissenschaftliche Beobachtungsmaterial in seiner Allgemeinheit, um den Zusammenhang zwischen den verschiedenen Naturvorgängen erkennen zu lassen, doch waren die einzelnen Vorgänge selbst, die sich zum Beispiel bei der Verbrennung, bei der Reduktion oder Gärung abspielen,

experimentell noch viel zu wenig untersucht, als daß sie hätten richtig erklärt werden können. Trotzdem schuf sich die griechische Naturphilosophie ihr zusammenhängendes Weltbild, "aber sie konnte es nur", wie Friedrich Engels schrieb, "indem sie die noch unbekannten wirklichen Zusammenhänge durch ideelle phantastische ersetzte, die fehlenden Tatsachen durch Gedankenbilder ergänzte, die wirklichen Lücken in der bloßen Einbildung ausfüllte."

Zwar machten die künftigen Generationen viele Beobachtungen, aber es dauerte doch fast 2 Jahrtausende, bis die Chemiker ihre neuen Kenntnisse den alten naturphilosophischen und aristotelischen gegenüberstellten und sich tieferes Wissen über die Stoffe und ihre Umwandlungen erarbeiteten, bis sie herausfanden, welche Stoffe wirklich als Elemente, als Grundstoffe im chemischen Sinn angesehen werden dürfen.

DER SKEPTISCHE CHEMIKER, DER BEWEISE
FORDERT. ROBERT BOYLE ¹⁾

An einem der kühlen und feuchten englischen Frühlingsabende des Jahres 1647 kehrt Robert Boyle von einem anregenden Klubabend aus London nach Stalbridge zurück. Müde von dem anstrengenden Ritt streckte er sich so bequem wie möglich in dem etwas steifen Ohrensessel vor dem alten Kamin aus. Wie immer, wenn er in das knisternde Feuer blickt, wird der Zwanzigjährige in den Bann dieses ewig jungen Schauspiels gezogen, das so vertraut wie geheimnisvoll, so anheimelnd wie gefährvoll anmutet.

1) I. Strube, Bilder chemischer Vergangenheit, Leipzig/Jena, 1960.

Doch an diesem Abend folgen Boyles Augen nicht lange dem lustigen Spiel der tanzenden Flämmchen; seine Gedanken haben ihn fortgetragen aus der Welt des Schauens und Beobachtens in das Reich des Sinnens und Denkens.

Was geschieht mit dem Holz, wenn es dem Feuer ausgesetzt wird, wenn die kleinen Flammen sich in die Holz - fäserchen hineinfressen und sie zur Schwärze der Kohle verfärben? Auch die Holzkohle lassen sie nicht zur Ruhe kommen; sie glimmt auf, verzehrt sich als glutrotes Scheit, bis nur ein unscheinbares Häufchen grauweißer Asche übrigbleibt.

Die Chemiker seiner Zeit wissen eine Antwort auf diese Frage. Sie sagen, das Holz wird in seine Elemente zerlegt; das Feuer, der allgemeine Analysator der Stoffe, scheidet die Urbausteine des Holzes ab. Das, was dem Feuer widersteht, was nach der Verbrennung noch übrigbleibt, nennen sie die Elemente des Stoffes. Doch was verstehen sie unter diesen Elementen, welche Stoffe rechnen sie dazu?

Die Anhänger der Elementenlehre Aristoteles' behaupten, Feuer, Wasser, Luft und Erde wären die Grundbausteine eines jeden Körpers. Andere, die die Meinung des Paracelsus und seiner Nachfolger teilen, sagen, Quecksilber, Schwefel und Salz wären die Elemente. Und eine dritte Gruppe schließt einen Kompromiß und betrachtet Erde, Wasser, Schwefel, Quecksilber und Salz als die letzten Bausteine der Stoffe. Welcher Richter sollte ein gerechtes Urteil sprechen? Wer sollte nachweisen, welches die wirklichen, nicht mehr weiter in andere Stoffe zerlegbare Bestandteile der unzählig vielen chemischen Verbindungen waren?

Ein moderner Chemiker würde den Wahrheitssuchern geantwortet haben: Quecksilber und Schwefel gehören auch zu ihnen, aber sie sind nicht die einzigen. Die Zahl der Elemente, solcher Stoffe, die sich physikalisch nur auf dem

Wege der Atomzertrümmerung, chemisch aber überhaupt nicht in einfachere zerlegen lassen, ist nicht vier, wie Aristoteles meinte, und auch nicht drei, wie Paracelsus behauptete, sondern sie ist rund hundert. Doch dieses Wissen war den Forschern des 17. Jahrhunderts noch nicht erschlossen. Ihre Elementenvorstellungen gingen noch immer auf Aristoteles zurück, der allerdings unter den Elementen nur die Sinnbilder für gewisse charakteristische Eigenschaften der Stoffe verstanden hatte.

Paracelsus hatte dann für das aristotelische Element "Feuer" das Element "Schwefel" gesetzt, weil dieser besonders leicht und restlos verbrennbar ist und so das Symbol der Brennbarkeit am besten verkörperte. Ebenso hatte er alle flüchtigen Stoffe nicht mehr "Wasser", sondern "Quecksilber" und alle salzig schmeckenden, wasserlöslichen "Salz" statt "Erde" genannt.

Solange die Chemiker experimentierten, um den Stein der Weisen, um Gold oder Arzneien herzustellen, ohne nach den Ursachen der Stoffverwandlungen zu forschen, kamen sie mit diesen stofflich verstandenen Symbolen in keinerlei Konflikte.

Zu Boyles Zeiten aber, als man begann, die Zusammensetzung der Stoffe und die Gesetze der chemischen Umsetzungen zu ergründen, mußten die Wissenschaftler eines Tages auf die Unzulänglichkeit der alten Begriffsbildung stoßen. Je mehr Stoffe man fand, die infolge ihrer Brennbarkeit "Schwefel" sein sollten, desto schwieriger wurde das Verständnis. Konnte man überhaupt die Vielzahl der verschiedenartigsten brennbaren Destillate noch unter dem einen Begriff "Schwefel" zusammenfassen?

Wie verwickelt die Widersprüche waren, das sollte der junge Boyle bei seinen Untersuchungen noch oft zu spüren bekommen. Glücklicherweise ließ er sich nicht von der Autorität eines Aristoteles oder Paracelsus einschüchtern, wenn er Tatsachen beobachtete, die zu der herkömm-

lichen Meinung in Widerspruch standen.

Auf seinem Gut in Stalbridge hatte sich der junge Naturforscher ein kleines Laboratorium eingerichtet, in dem er nach Lust und Muße experimentierte; wahllos hatte er alle möglichen Stoffe untersucht; er hatte sie gelöst, wieder auskristallisieren lassen und wunderschöne formvollendete Kristalle gezüchtet. Er hatte Pflanzensäfte mit Säuren und Laugen behandelt und sich prächtiger Farbenspiele erfreut. Dabei hatte er feststellen können, daß die Extrakte von Veilchen, Lackmus und Rotkohl sich bei Zusatz von Säuren röteten, während sie durch Laugen eine blaue Farbe annahmen. Er pflegte diese Stoffe seit dieser Zeit als "Indikatoren" zu verwenden, die ihm die Anwesenheit von Laugen und Säuren anzeigten.

Vor allem aber hatten ihn immer wieder diejenigen Versuche beschäftigt, die ihm Beobachtungsmaterial für das Verhalten der Stoffe im Feuer lieferten. Er erhitzte alle Substanzen, die in seinem kleinen Labor vorrätig waren, setzte sie offen oder geschlossen in Gefäßen der Einwirkung des Feuers aus, um die Abscheidung der Elemente durch das Feuer zu studieren. Immer mehr festigte sich dabei in ihm die Überzeugung, daß schon die erste Voraussetzung der alten Elementenlehre falsch sei. Behauptete sie doch, das Feuer sei der allgemeine Analysator der Stoffe, sei das Mittel, das alle zusammengesetzten Stoffe in ihre Elemente zerlegte. Was lehrten ihn dagegen seine praktischen Untersuchungen?

Boyle fand, daß es eine ganze Reihe von Stoffen gab, die man stunden- und tagelang der Einwirkung des Feuers aussetzen konnte, ohne daß sie auch nur die geringste Neigung zeigten, sich in ihre Elemente zu zerlegen. Gold gehörte zu ihnen und auch Glas. In großer Hitze zerschmolzen sie zwar, aber wenn man sie abkühlte, dann zeigte sich, daß sie auch nicht ein einziges ihrer Elemente hergegeben hatten; sie erstarrten wieder zu Gold oder Glas.

Da sich Gold und Glas durch Feuer nicht zerlegen ließen, behaupteten manche Chemiker, jene seien selbst "Elemente". Diese Begründung jedoch war es gerade, die die Skepsis des jungen Boyle hervorrief. Wie konnte Glas ein Element sein, ein Stoff also, der nicht weiter in andere Stoffe zerlegbar war?

Jeder Glasbläser wußte doch, daß man zur Herstellung des Glases Sand, Soda und Flußmittel zusammenschmelzen mußte. Wußten die gelehrten Doktoren das etwa nicht? Sie predigten ihre Elementenlehre, ohne sich die geringste Rechenschaft über ihre Behauptungen abzulegen. Man mußte ihnen die Unhaltbarkeit ihrer Lehre an möglichst vielen Beispielen beweisen.

Fiebernde Ungeduld packt den jungen Forscher und geradewegs eilt er in sein Labor, sein Wollen in die Tat umzusetzen.

Kürzlich hatte Boyle etwas Erstaunliches entdeckt, als er Holz nicht in der offenen Flamme verbrannte, sondern abgeschlossen im Kolben eines Destillierapparates verkohlte. Dieses Experiment wollte Boyle wiederholen.

Boyle entfacht das Feuer in dem kleinen Schamotteherd, setzt den Destillierapparat auf, setzt Auffangschalen und kaltes Wasser bereit und schneidet eine Handvoll ^{mit einem} Buchsbaumspäne zurecht. Vorsichtig schüttet er sie in den peinlich gereinigten Kolben des Destillierapparates und erhitzt ihn, zuerst behutsam, dann immer kräftiger.

Schwarzgraue Dämpfe steigen aus dem Holz auf, zwingen sich in dem gekühlten Destillieraufsatz wieder zu einer Flüssigkeit. Immer dichter und undurchsichtiger wird der Dampf, immer hellere, klarere Tröpfchen fließen durch das Rohr in die gekühlte Auffangsschale. Das Holz hat sich inzwischen schwarz gefärbt. Je weiter der Verkohlungsprozeß fortschreitet, um so geringer wird die Dampfbildung, bis sie schließlich ganz aufhört. Immer mehr steigert Boyle die Temperatur, aber die Holzkohle verändert sich

nicht mehr; reglos liegt sie auf dem Boden des Glases. Boyle triumphiert. Alles verlief genau wie damals. Er löscht das Feuer und entfernt behutsam die Schale. Die aufgefangene Flüssigkeit verbreitet einen säuerlich stehenden Geruch nach Essig; sie schmeckt aber auch brenzlich wie Spiritus. Quecksilber - manchmal auch Spiritus - nannten die Chemiker die Bestandteile, die sich aus einem Körper in der Hitze verflüchtigten. Dann hatte er also jetzt "Quecksilber" des Holzes vor sich. Wo aber blieb es, wenn er das Holz in der offenen Flamme verbrannte? Dabei schied sich dieses Quecksilber doch nicht ab, sondern er erhielt nur Asche und Salz! Bei der Verbrennung in der offenen Flamme zeigten sich also gar nicht alle Elemente, die einen Stoff wirklich aufbauten, dafür hielt er jetzt einen vortrefflichen Beweis in Händen!

Das Beispiel hätte bereits genügt, um Boyles Kritik an den überlieferten Anschauungen zu rechtfertigen, doch der Skeptiker will ganz sicher gehen. Fast verletzt er die Regeln seines genau vorgeschriebenen Tagesablaufes, als er an den folgenden Tagen unermüdlich neuen Beweisen nachjagt, Experimente sucht, die offenbaren, daß das Feuer allein nicht geeignet ist, alle Elemente abzuscheiden, die einen Stoff aufbauen, ihn zu analysieren.

Eigentlich war es doch recht merkwürdig, daß aus dem festen, höchstens harzig riechenden Holz ein saurer und scharfer Spiritus hervorkam!

Mit zwingender Logik verfolgt Boyle den beobachteten Naturprozeß. Wenn nach der Destillation ein Stoff aus dem Holz hervortrat, der vor der Destillation in dem Holze nicht enthalten war, dann konnte er sich nur durch die Einwirkung der Wärme auf das Holz gebildet haben.

Dieser genial einfache Gedanke begeisterte Boyle, aber nur für einen Augenblick. Auch seinen eigenen Überlegungen gegenüber blieb er so lange skeptisch, bis er sie praktisch beweisen konnte. Er mußte jetzt also herausfinden,

ob das Feuer wirklich fähig war, einen Körper zu zwingen, Stoffe abzuscheiden, die vorher nicht in ihm enthalten waren.

Lange sitzt er über seinem Tagebuch gebeugt. Dann kommt ihm ein Einfall, so einfach und selbstverständlich, daß er sich wundert, wieso er nicht gleich darauf gekommen ist.

Wenn er von einem einfachen Körper ausgeht, von dem er genau weiß, aus welchen Elementen er aufgebaut ist, dann muß es kinderleicht festzustellen sein, ob das Feuer den Stoff wieder in diese Elemente zerlegt oder andere daraus abscheidet. Er braucht also nur einen zusammengesetzten Körper aus Elementen herzustellen und ihn dann der Einwirkung des Feuers auszusetzen.

Boyle nimmt Pottasche, Soda und Kochsalz - Stoffe, die als Element "Salz" bezeichnet wurden, dazu Öl, das angebliche Quecksilber - und kocht diese Mischung gelinde, bis sich ein zäher Seifenleim gebildet hat.

Wenn er diese Seife nun heftig erhitzt, dann muß sie sich wieder in ihre Ausgangselemente zerspalten lassen, falls die allgemeine Theorie richtig ist.

Weiße Dampf Wolken kringeln empor, die bald braun und schwarz werden und einen widerlich stechenden Geruch verbreiten. Die Seife ist zusammengeschmolzen, hat sich bräunlich gefärbt, wirft Blasen und wird immer dunkler, bis zuletzt eine kohleartige Masse übrigbleibt. Wo waren das Quecksilber und das Salz geblieben? Welcher Stoff hatte beim Erhitzen so widerlich gerochen?

Der Beweis lag auf der Hand; das Feuer hatte die Elemente nicht wieder abgeschieden, sondern verändert, in andere Stoffe umgewandelt.

Kaum hatte Boyle dieses Glied in der Kette seiner Beweisführung ergriffen, als er mit der ihm eigenen Konsequenz die Schlußfolgerungen daraus für die Erklärung anderer Erscheinungen zieht.

Wenn die Stoffe Salz, Öl und Wasser, seine vermeintlichen Elemente, sich so verändern ließen, daß die überhaupt nicht wiederzufinden waren, dann konnten sie in Wirklichkeit keine Elemente sein; denn Elemente waren ja gerade dadurch charakterisiert, daß sie nach der Behandlung im Feuer als solche abgeschieden wurden. Die Elemente Salz oder Wasser gab es also in Wirklichkeit gar nicht!

Was blieb jetzt von der Lehre des Aristoteles und des Paracelsus noch übrig? Boyle hatte widerlegt, daß das Feuer der allgemeine Analysator war, hatte bewiesen, daß die erhaltenen Erhitzungsprodukte gar nicht immer Elemente waren und daß es das, was landläufig als Element Salz, Element Schwefel, Element Quecksilber, Element Erde bezeichnet wurde, nicht gab. Mit Hilfe des ^{heute} unantastbaren praktischen Beweises hatte er den Chemikern demonstriert, daß ihre symbolischen Vorstellungen sich nicht länger mit den Realitäten der wirklich vorstatten gehenden chemischen Umsetzungen in Einklang bringen ließen. Er hatte ihr bisheriges chemisches Theoriegebäude von Grund auf zerschmettert und bot ihnen nun die Trümmer dar.

Als Boyle im Jahre 1661 seine Untersuchungen und Schlußfolgerungen in dem kleinen Buch "Der skeptische Chemiker" veröffentlichte, da setzte ein wahrer Sturm nach diesem Werk ein. Es mußte ins Lateinische übersetzt werden und wurde in zahlreichen Auflagen in allen europäischen Ländern verbreitet. 9

Eine solche Nachfrage nach Boyles "skeptischem Chemiker" war nur zu verständlich, demonstrierte er doch in diesem Werke anhand vieler chemischer Beispiele die Unhaltbarkeit der herrschenden chemischen Elemententheorien und zog in einer wahrhaft revolutionären Weise einen Schlußstrich unter diese den Kriterien der Praxis

nicht standhaltenden alten Theorien.

Seine neuen Gedanken freilich, die wieder die materialistische Richtung in den Naturerklärungen unterstützten, setzten sich vererst kaum durch. Wenn sie auch im Grunde genommen vieles Richtige enthielten, so konnten die Chemiker doch mit diesen mehr physikalischen Ansichten wenig anfangen; Chemiker, die noch nicht einmal wußten, welche Stoffe wirklich Elemente, reine Grundstoffe, und welche Verbindungen waren, wurden von Boyle fälschlich belehrt, daß es solche Elemente überhaupt nicht gäbe.

DER VERBRENNUNGSPROZESS WIRD ERKLÄRT ¹⁾

Ein aufgeschlossener und scharfsinniger Mensch voller Schaffenskraft und unerschöpflicher Energie begegnet uns in dem am 21. Oktober 1659 geborenen Georg Ernst Stahl. Noch während er gemeinsam mit seinem Bruder das Ansbacher Gymnasium besuchte, interessierte er sich schon für eine Menge Fragen, auf die ihm seine Lehrbücher keine Antwort geben konnten.

Um Naturwissenschaften, besonders Chemie studieren zu können, mußte Stahl das Berufsziel eines Arztes wählen, denn nur mit dem Studium der Medizin war zu jener Zeit das der Chemie und Naturlehre verbunden.

Stahl zog deshalb im Jahre 1679 nach Jena und ließ sich als Student der Medizin an der dortigen Universität einschreiben. Er hörte Vorlesungen bei Prof. Wolfgang Wedel, einem fortschrittlichen Medizinprofessor, der sich um die Einführung mechanistisch-materialistischer Vorstellungen zur Erklärung der Lebensvorgänge im Organismus verdient gemacht hatte.

Neben den medizinischen Vorlesungen und praktischen Übungen gab es nur wenige, die sich mit Chemie befaßten. Doch da Stahl den dargebotenen Stoff durch einige Studien ergänzte und sich in seinem Studienzimmer einen Experimentiertisch eingerichtet hatte, um das Gehörte auch praktisch zu sehen und zu überprüfen, wurde er bald im Kreise der Professoren und Studenten, ja auch der Apotheker von Jena als Autorität für chemische Fragen bekannt.

Während dieser Jenaer Studien wurde Stahl mit theoretischen Ansichten in der Chemie vertraut, die ihm weder bei der Lektüre von Albertus Magnus noch von Barner begegnet waren. Er lernte jene atomistisch-mechanistischen

1) I. Strube, Bilder chemischer Vergangenheit, Leipzig/Jena, 1960.

Lehren kennen, die durch die Philosophen Descartes und Gassendi in die Chemie eingedrungen waren und die vor allem Robert Boyle und der französische Arzt Lemery ihren chemischen Werken zur theoretischen Deutung zugrunde gelegt hatten. Die Eigenschaften der verschiedenen Stoffe und ihre Umwandlungen wurden hierin nicht mehr allein durch das Wirken der sogenannten "Elemente" erklärt, sondern durch das Aufeinandertreffen verschiedenartig gestalteter winziger Materieteilchen. Durch mechanische Bewegung, durch Stoß und Druck sollten die Teilchen aufeinander wirken, hier einen Körper mit bestimmten Formen und Eigenschaften aufbauen, dort einen anderen zerstören und verändern. Boyle hatte in seinen Lehren den Atomen jegliche Qualität aberkannt und gelehrt, daß die Verschiedenheit der Stoffe durch eine unterschiedliche Anordnung der verschiedenartig geformten aber qualitativ einheitlichen Materieteilchen hervorgerufen wird. Lemery dagegen glaubte, daß die chemischen Vorgänge durch die Wirkungen kleiner Teilchen der 5 Elemente Wasser, Spiritus (Quecksilber), Öl (Schwefel), Salz und Erde hervorgerufen würden. Auch nahm er an, daß man diese Teilchen von Säuren als Spitzen vorstellen müsse, mit denen sie zum Beispiel in die menschliche Zunge einstächen und ein beißendes Gefühl hervorriefen. Laugenteilchen dagegen dachte er sich mit Höhlungen ausgestattet, in die die Säuren spitzen leicht eindringen könnten.

Die Vorstellung über die atomistische Struktur der Materie machte Stahl zu seiner eigenen, und als er bereits ein Jahr vor Abschluß seiner medizinischen Doktorarbeit die Erlaubnis erhielt, an der Jenaer Universität Privatvorlesungen über die Chemie zu halten, gab Stahl diese materialistischen, atomistischen Vorstellungen auch an seine Schüler weiter.

In den allgemeinen Vorstellungen seiner Zeit noch befangen, lehrte Stahl in der Vorlesung allerdings auch noch über die Möglichkeit der Verwandlung unedler Metalle

in Gold und Silber, die Transmutation; er wies jedoch ausdrücklich darauf hin, daß er sich in dieser Meinung nur auf Autoritäten, unter anderem auch auf Boyle bezöge, während er selbst noch nie einer solchen Transmutation beige-
wohnt hätte, geschweige denn selbst im Besitze des "Steins der Weisen" sei.

Sowohl durch seine chemische als auch seine medizini-
sche Tätigkeit erwarb sich Stahl bald solchen Ruhm, daß der Herzog Ernst von Sachsen-Weimar ihn als Leibarzt nach Weimar berief. Stahl brach daher seine eben begonnene Lauf-
bahn in Jena ab und siedelte nach Weimar über.

Wenn man die Vorgänge der chemischen Praxis studieren
will, braucht man neben einer guten Beobachtungsgabe und der Fähigkeit, in der Vielzahl der Prozesse das Wesentliche herauszufinden, noch zwei andere Dinge: Zeit und Geld. Mit beiden war Stahl nicht gesegnet. Betrieb er die Chemie ja
mehr oder weniger als Privatvergnügen neben seiner beruf-
lichen Tätigkeit, so reichte sein Gehalt - was der Herzog ihm sogar oft rückständig blieb - eben zur Bestreitung der
Kosten für Kleidung, für chemische Geräte und Chemikalien. Stahl besaß kein Vermögen, das ihm gestattet hätte, sich
beurlauben zu lassen und Reisen durch die Erzgebiete und
Schmelzhütten Deutschlands zu unternehmen.

Aber dennoch fand er die Möglichkeit, sich in einigen
nahe gelegenen Schmelzhütten gründlich umzusehen und auch
einen Einblick in die Prozesse anderer Hütten, ja sogar
anderer chemischer Gewerbe zu erhalten. Letzteres erreichte
er durch intensives Studium einer besonderen Art chemischer
Literatur, auf die ihn gebildete Handwerker hingewiesen
hatten, die aber sonst auf den Universitäten kaum beachtet
wurde.

Diese chemische Literatur war von lese- und schrei-
bekundigen Handwerkern seit dem ausgehenden 16. Jahrhundert
angefertigt worden und hatte zum Beispiel die genaue Be-
schreibung der einzelnen Vorgänge beim Verhüttungsprozeß,

u.a. das Rösten der Erze, das Schmelzen mit verschiedenen Zuschlägen, das Abtreiben, Seigern und anderes mehr zum Gegenstand.

Stahl hat ein offenes Ohr für alle Nöte und Klagen - nicht nur für die der Kranken. So erfährt er von den Handwerkern manches, was sie sonst nur unter sich besprechen: Von ihrem Kummer, daß das Blei oder das Zinn ihnen ausbrennt und gleichsam zu Asche zerfällt und dann unwiederbringlich verloren ist, wenn während des Gießprozesses zuviel Luft dazukommt.

Die Kohle scheint bei der ganzen Verhüttungsprozeß eine große Rolle zu spielen. Stahl fragt die Schmelzer, wozu sie nötig sei, und erhält die Antwort: Einmal, um die Temperatur genügend hochzutreiben, um das Erz aus dem Metall herauszuschmelzen; zum anderen, damit das erschmolzene Metall sich darunter verkriechen kann und vor dem Luftstrom geschützt ist, der es zu Asche verbrennen würde.

Stahl gibt sich mit dieser Antwort nicht zufrieden, doch keiner der Schmelzer kann ihm eine andere Begründung geben.

Stahl ist Chemiker und in der Lage, etwas weiter zu denken als die Handwerker. Er weiß, daß der Zusatz bestimmter Stoffe chemische Umwandlungen hervorzurufen vermag, und vermutet, daß auch hier etwas Ähnliches vor sich gegangen sein wird. Ja, er hofft sogar, daß es so sein möchte, denn darin lag doch eine großartige Möglichkeit, den Schmelzern zu helfen, ihr verdorbenes, zu Asche zerfallenes Metall wieder herzustellen. Wenn sie auch behaupteten, daß keine Temperatur, und sei sie noch so hoch, aus dieser Asche wieder Metall hervorzubringen imstande sei, sondern daß die höchstens zu einer glasartigen Masse zusammenschmelze, so war doch die Frage dabei offen geblieben, ob sie bei diesen Schmelzversuchen die Asche u n m i t t e l b a r mit der Kohle in Berührung gebracht hatten.

Stahl will seine Überlegungen im Experiment über-

prüfen. Da er keinen Schmelzofen besitzt, muß er mit primitiven Mitteln arbeiten. Er wählt aus seinem Vorrat ein großes Stück ebenmäßiger Holzkohle aus und dreht mit einem Silbergröschen eine Höhlung in die Kohle hinein. In diese schüttet er eine Mischung aus Bleistaub und Salpeter und richtet mit Hilfe eines Goldschmied-Lötröhrchens einen scharfen Strahl seines Ofenfeuers auf das Gemisch. Die Mischung bläht sich auf, wirft Blasen und schmilzt schließlich zu einer glasklaren Masse zusammen. Das war offensichtlich jene Glasmasse, von der die Handwerker gesprochen hatten. Als Stahl jetzt den Luftstrom mindert, daß die Masse eben noch fließt, macht er eine interessante Feststellung: An den Rändern, dort, wo die Masse mit der Holzkohle in Berührung kommt, zischt sie auf, ein gelbliches Pulver sprüht auf die Kohle, und nach kurzer Zeit ist die gesamte Glasmasse verschwunden, und nur ein silberglänzendes Kügelchen liegt am Grunde der Höhlung - metallisches Blei.

Stahls Vermutung schien sich zu bewahrheiten: Richtete er die heiße Flamme mit einem scharfen Luftstrom auf das Metall, dann verbrannte es und floß mit dem Salpeter in eine glasartige Masse zusammen; ließ der Luftstrom nach, dann verwandelte sich dieses Glas, dieser "Metallkalk" dort, wo er mit der Kohle in Berührung kam, in das Metall zurück.

Stahl zweifelte nun keinen Augenblick länger, daß die Kohle bei dieser Verwandlung eine ganz bestimmte Rolle spielte, die nicht allein darin bestand, eine genügend hohe Temperatur zu erzeugen. Aus seinen Beobachtungen bei den Schmelzern und aus seinen Untersuchungen folgerte er, daß die Kohle als eine materielle chemische Substanz an einer chemischen Reaktion teilnimmt, die sich zwischen ihr und dem Metallkalk abspielt, und als deren Resultat das reine Metall aus dem Kalk zurückerhalten wird.

Eine Einschränkung machte Stahl dabei allerdings noch: Da die Kohle bei dem Prozeß nicht restlos verschwindet,

sondern Asche übrigläßt, konnte nur ein bestimmter Teil der Kohle zur Umwandlung beigetragen haben. Da dieser Teil den Metallkalken ihre typischen Metalleigenschaften zurückgab und sie dadurch auch wieder die Eigenschaft "verbrennen zu können" zurückerhielten, nannte Stahl diesen Teil der Kohle, diese Substanz, die er in ihr enthalten glaubte, die "brennliche" Substanz. Später gab er ihr den Namen "Phlogiston" (von griech. Phlox=die Flamme) und deutete die bei den Schmelzern gemachten Beobachtungen folgendermaßen: Alle Metalle enthalten normalerweise dieses Phlogiston, das beim Erhitzen aus ihnen entweicht. Das Metall verbrennt, und Asche, Glas oder Metallkalk bleibt zurück. Fügt man diesen verbrannten Metall einen Stoff zu, der sehr reich an Phlogiston ist, wie Holzkohle, Ruß oder Teer, so wird ihm daraus Phlogiston wieder zurückerstattet und der Metallkalk wieder ins Metall zurückverwandelt. Da die Verkalkung der Metalle nichts anderes ist als eine gewöhnliche Verbrennung, so ist auch die Verbrennung, zum Beispiel von Holz, nichts anderes als ein Entweichen von Phlogiston, wobei die Asche des Holzes zurückbleibt. Den Schmelzern gab er den Rat, stets genügend Kohle beim Verhüttungsprozeß gegenwärtig zu haben, da sie nicht nur zur Erzeugung von Hitze dient, sondern selbst an der Verwandlung der Erze in die Metalle beteiligt ist.

Im Jahre 1693 wurde in Halle eine neue Universität begründet. Stahl erreichte im Mai des Jahres 1694 eine Berufung als Professor der Medizin an diese Universität.

Vor allem sagte Stahl sich hier endgültig von den alchimistischen Bestrebungen der Goldmacherei los und zog sowohl in seinen Vorlesungen als auch in seinen Werken als erster Wissenschaftler energisch gegen das Goldmachen zu Felde.

Auch mit seiner neuen Lehre vom Phlogiston machte Stahl die Studenten in der Vorlesung bekannt.

Für Stahl und seine Schüler stand nach vielen Experimenten und Überlegungen fest, daß alle Metalle zusammengesetzte Stoffe waren, zusammengesetzt aus dem entsprechenden Metallkalk und Phlogiston, das sie in geringerer oder größerer Menge erhielten. So sieht Stahl in seinen Gedanken das Eisen aus Eisenkalk und Phlogiston, das Kupfer aus Kupferkalk und Phlogiston, das Quecksilber aus Quecksilberkalk und Phlogiston aufgebaut.

Im Jahre 1697 veröffentlichte Stahl ein Buch mit dem Titel "Zymotechnica fundamentalis", ein Werk über die Gärkunst, in dem er zum ersten Male seine Gedanken über den Verbrennungsvorgang und die Rolle des Phlogistons öffentlich darstellte. Ihm folgten in den Jahren bis 1718 weitere Werke, u.a. das Buch "Nützliche Bedenken über unnützen Streit von dem sogenannten Sulphure", in dem er sich mit den chemischen Lehren der vorangegangenen Zeit auseinandersetzte und seine Phlogiston - Theorie noch einmal von Grund auf darlegte.

Die Werke Stahls traten einen Siegeszug in allen Ländern Europas an. Nahezu alle Chemiker griffen die Ideen Stahls auf und versuchten, ihre eigenen Beobachtungen und Kenntnisse mit der Phlogiston- Theorie zu erklären.

Wenn auch das Phlogiston in Wirklichkeit gar nicht existierte, wenn die als zusammengesetzt gedachten Stoffe einfache und die einfachen zusammengesetzte waren, so ließen sich dennoch die bekannten chemischen Vorgänge zunächst mit der Theorie genau so gut erklären wie später mit der Oxydations- und Reduktionstheorie Lavoisiers, nur mit dem Unterschiede, daß die phlogistischen Erklärungen verkehrt herum dargestellt waren.

Aber die Chemiker zu Stahls Zeiten bemerkten das vorerst nicht. Sie begeisterten sich an den Möglichkeiten, eine Reihe fundamentaler chemischer Vorgänge in einem System zusammenfassen zu können. Die Verbrennung, die Verkalkung der Metalle, die Atmung, die Fäulnis erwiesen sich

plötzlich als ganz analoge Erscheinungen, die alle durch die Abgabe von Phlogiston hervorgerufen wurden. Man konnte sie unter diesem Gesichtspunkt leicht ordnen und sich so eine natürliche Übersicht über eine große Menge chemischer Vorgänge schaffen.

Auch in der chemischen Praxis bewährte sich die neue Theorie vorzüglich. Sie gewährte eine große Hilfe bei der Erzverhüttung und der Steigerung dieser Produktionen.

Stahls Phlogistentheorie wurde zur ersten wissenschaftlichen Theorie in der Chemie, denn mit ihrer Hilfe war es - seit Empedokles und Aristoteles - zum ersten Male möglich geworden, eine Ordnung, eine Systematisierung in die Fülle der bekannten chemischen Vorgänge zu bringen; eine Ordnung, die nicht auf Grund äußerer Merkmale vorgenommen werden konnte, sondern die sich aus der Sache heraus, aus der Reaktionsfähigkeit der Stoffe, aus ihrem Besitz oder ihrem Mangel an Phlogiston erklärte. Dabei störte es vorerst nicht, daß Stahl Vorgänge verkehrt darstellte. Wesentlich war, daß Stahl zum ersten Male überhaupt den Zusammenhang zwischen den beiden fundamentalen chemischen Vorgängen der Oxydation und der Reduktion herausgearbeitet und auf diese Weise eine natürliche Ordnung innerhalb der Chemie geschaffen hatte.

Die Fehler dieser Theorie, die mit der fortschreitenden Forschung sichtbar werden mußten, stellten die nachfolgenden Chemiker vor schwierige Aufgaben. Doch indem sie daran arbeiteten, die Widersprüche und Unzulänglichkeiten der Phlogistentheorie zu beseitigen, trugen sie dazu bei, schließlich die gesamte Theorie zu überwinden und an ihre Stelle eine neue, richtigere zu setzen. An diesem Prozeß waren Naturforscher aus allen Teilen Europas beteiligt: aus Rußland, Schweden, England, Frankreich.

Als Michail Wassiljewitsch Lomonossow am 19. November 1711 im Dorfe Denissewka geboren wurde, begann sich die Wissenschaft in Rußland erst zu entwickeln. In Kiew, Meskau und Petersburg befanden sich die wenigen Mittelpunkte des geistigen Lebens, weit ab von der Heimat Lomonossows, der hoch im Norden des Landes auf einer der Inseln der nördlichen Dwina aufwuchs. Hier, unter den freien Staatsbauern und den kühnen Fischern, war Lomonossows erste Universität.

Lomonossow ist noch ein Kind, kaum 10 Jahre alt, und kann weder schreiben noch lesen, als der Vater ihn auf die sommerlichen Seereisen ins Weiße Meer und ins Eismeer mitnimmt. Staunend sieht der Knabe, was es außer seinem Dorf alles in der Welt gibt.

Abends sitzt er im warmen Sand und lauscht dem spielerischen Geplätscher der Meereswellen. Welle auf Welle verrinnt, und immer wieder erheben sich neue aus dem endlosen Meer. Was mag das für eine Kraft sein, die das Wasser ständig in Bewegung hält? Wie entstehen Sog und Strudel, wie die Ebbe und Flut? *der* *die* *ausläuft, bogen* *verwirrt, verwirrt* *noch*

An den langen Winterabenden sitzt der hochaufgeschossene, von Wetter und Arbeit gestählte Junge auf dem wärmenden Backsteinofen und grübelt darüber nach, wo er die Lehrmeister finden könnte, der ihm die Rätsel der Natur erklären. Der Junge ist klug genug, um zu erkennen, daß er darauf vergeblich warten wird, wenn er hier sitzen bleibt. Deshalb geht er zum Küster des kleinen Dorfes und bittet diesen, ihn im Lesen, Schreiben und Rechnen zu unterrichten.

Acht Winter lernt Lomonossow beim Küster, dann hat er alle Bücher durchgelesen, die auf der Insel vorhanden sind;

1) I. Strube, Bilder chemischer Vergangenheit, Leipzig/Jena, 1960.

die Arithmetik von Magnitzki und eine slawische Grammatik von Smotritzki kennt er in- und auswendig; sein Wissensdurst jedoch ist nicht gestillt, sondern größer als je zuvor.

Was soll er nun beginnen? Hier oben im eisigen Norden gab es keine Schulen. Aber in Moskau oder Kiew, hatte der Küster gesagt, gäbe es Akademien, an denen man die lateinische oder griechische Sprache erlernen könne. In Petersburg, an der neugegründeten Akademie der Wissenschaften, sollte es einen ganzen Saal voll naturwissenschaftlicher Bücher aus aller Welt geben.

Als im Jahre 1730 eine Schlittenkolonne aufbricht, um Fische nach Moskau zu bringen, ist für den jungen Lomonossow der Augenblick gekommen, seinen Entschluß, nach Moskau zu gehen, in die Tat umzusetzen. Mitten im grimmigsten Winter, ohne Geld, ohne ausreichende Kleidung und Schuhzeug, nur mit dem Nötigsten versehen, verläßt er den heimatlichen Herd. Vier Wochen lang stapft er bei eisiger Kälte und tobenden Schneestürmen zu Fuß nach Moskau, erbittet sein Brot von den Fischern und teilt ihre Nachtquartiere auf den kalten Schlitten - beseelt von dem einen Wunsch, an der Hochschule des Moskauer Staates zu lernen.

Um an die Moskauer Akademie aufgenommen zu werden, mußte Lomonossow seine bäuerliche Herkunft geheimhalten und sich als Sohn eines Geistlichen ausgeben. Mit einem Stipendium von 3 Kopeken muß er auskommen; sie reichen kaum für Brot, geschweige für Bücher und Kleidung. Oft weiß er nicht mehr, wie er weiterleben soll. Aber er beißt die Zähne zusammen und arbeitet unermüdlich weiter.

Als einer der besten Absolventen wurde Lomonossow im Jahre 1736 nach Petersburg geschickt. Aber kaum hatte er an der Petersburger Akademie einige Monate studiert, da erregte er durch seine Leistungen die Bewunderung der vorwiegend ausländischen Professoren, und sie beschlossen, ihn zusammen mit zwei anderen auserwählten Studenten zum

Studium nach Deutschland an die Universität Marburg und die Bergakademie Freiberg zu schicken.

Als Lomonossow nach fruchtbaren Studienjahren in Marburg und Freiberg im Jahre 1741 wieder in sein Heimatland zurückkehrte, glaubte er, hier Gelegenheit zu erhalten, sein Wissen zum Wohle Rußlands anwenden und an Schüler weitergeben zu können. Doch in Petersburg wartete er von Tag zu Tag vergeblich auf seine Anerkennung durch die Akademie. Ein halbes Jahr ist seit seinem Rückkehr verflossen, und noch immer ist er weder als Assistent eingestellt, noch bezieht er ein festes Gehalt. Die Mitglieder der Akademie, meistens Ausländer, witterten in Lomonossow den Rivalen, der sie überbieten, ihnen Rang und Platz streitig machen wollte. Zäh und ausdauernd kämpfte Lomonossow um seinen Platz an der Akademie. Schließlich erreicht er, daß ihn die Leitung der Akademie als Assistenten einstellen muß. Aber das ist ein geringer Erfolg, denn noch immer hat man ihm kein chemisches Laboratorium zur Verfügung gestellt.

Empfindlicher konnte man Lomonossow nicht treffen, denn was soll ein Chemiker ohne Labor, ohne Glasgeräte, Chemikalien und Öfen beginnen?

Doch so sehr man Lomonossow die Hände fesselte, sein Arbeitseifer blieb ungebrochen. In der Zeit, in der er um die Einrichtung des Labors kämpft, legt er die Hände nicht in den Schoß. Im Gegenteil, er sucht sich ein anderes Betätigungsfeld, wozu er keine Reagenzien und Apparate benötigte. Er übt sich im Dichten, gleichzeitig arbeitet er an der Herausgabe eines Buches über Rhetorik und vereinfacht die russische Sprache. Sein Ruhm als Dichter und Philologe wächst von Tag zu Tag, sein Name wird im In- und Ausland bekannt, seine Werke werden in andere Sprachen übersetzt.

Zu jener Zeit vertraten viele Wissenschaftler die Auffassung, die Wärme der Körper würde durch einen besonderen Stoff, den Wärmestoff verursacht, so wie Verbrennung

durch das Phlogiston. Hatte ein Körper viel Wärmestoff aufgenommen, dann war er sehr heiß, und kühlte er sich ab, so entwich eben ein Teil jenes Fluidums. Nicht nur die Verbrennung und die Wärme wurden durch solche erdachten Stoffe erklärt, auch das Licht sollte durch die Wirkung eines Lichtstoffes und die Schwere der Körper durch einen Schwerestoff verursacht werden.

Lomonossow hatte sich - wie vor ihm auch andere (z.B. Boyle, Stahl, Locke, Newton) - mit diesen Behauptungen nicht zufrieden geben können. Als echter Forscher ging er dabei nicht einfach von seiner Vermutung aus, daß der Wärmestoff eine pure Erfindung der Phantasie sei, sondern setzte sich zunächst mit der vorliegenden Auffassung auseinander. Welchen Grund mochte es wohl geben, die Wärmeerscheinung einem besonderen Stoff zuzuschreiben?

Wenn er seine kalten Hände aneinanderrieb, wurden sie warm. Woher kam da der Wärmestoff?

Wenn man Feuersteine aufeinanderschlug, erhitzen sie sich so stark, daß die Funken flogen. Holz entzündete sich durch Reibung, und auch Eisen konnte man durch starke, öftere Hammerschläge zum Glühen bringen.

Alles das ging ohne das geringste bißchen Wärmestoff vonstatten. Also war der Wärmestoff tatsächlich ein Hirngespinnst; wozu brauchte man ihn, wenn die Wärme ... Er stutzte vor der Einfachheit dessen, wozu ihn seine Überlegung drängte. Er betrachtete seine Hände und rieb sie leicht aneinander. Nein, es gab keinen Zweifel, man brauchte keinen Wärmestoff, wenn die Wärme in der Bewegung eine hinreichende Ursache hatte. Diese Bewegung mußte stattfinden, nicht als ganzer Komplex, wohl aber in den kleinen Partikelchen eines Körpers. Wegen der Kleinheit der sich ständig bewegendenden Teilchen konnte man weder sie noch ihre Bewegung sehen.

Schritt für Schritt beweist Lomonossow mit den Erkenntnissen der Physik, mit den Gesetzen der Mechanik, daß

die sich bewegenden Partikeln kugelige Gestalt haben müssen, daß die Wärmebewegung sich vergrößern oder vermindern kann, wodurch eine stärkere Erwärmung oder Abkühlung bewirkt wird.

Um den Wärmestoff gleich von vornherein loszuwerden, stellt Lomonossow eine Gegenfrage: Konnte ein Körper wirklich nur dadurch sein Volumen ausdehnen, daß etwas zu ihm hinzutrat? Lange grübelt er darüber nach, stellt sich ein Stück Zinn vor, das beim Erwärmen länger und breiter wird, sieht in Gedanken dieses Stückchen Zinn aus vielen kleinen Korpuskeln aufgebaut, deren Bewegung durch das Feuer immer heftiger wurde - und seiner Sache sicher, greift er nach der Feder, um seine Gedanken folgerichtig festzuhalten: "Als die Philosophen die Wärmeerscheinung zu betrachten anfangen, da bemerkten sie bald, daß bei Vergrößerung der Hitze auch das Volumen des Körpers größer wird. Daraus zogen sie den Schluß, daß in die Körper irgendein Stoff eindringt und sie ausdehnt; aber in Wirklichkeit hat diese Erscheinung eine ganz andere Ursache. Infolge der Bewegung der Partikelchen müssen sie sich gegenseitig beeinflussen; jede wird von dem benachbarten abgestoßen, und um so größer, je stärker die Wärmebewegung ist. Da dieser Vorgang der Zusammenhaltskraft der Partikeln, der Kohäsion, entgegenwirkt, so wird jene vermindert und kann schließlich durch die Wärme derart verringert werden, daß die Kohäsion aufgehoben wird und die Körper schmelzen und dann verdampfen.

Hieraus kann man auch schließen, daß die Wärmebewegung der Partikeln Ursache für den flüssigen und gasförmigen Zustand ist. Sie lockert die Kohäsion derartig auf, daß die Partikeln frei zerfließen können und schließlich sich in der Luft zerstreuen. Darin liegt auch die Ursache der Verdampfung und Verdunstung. Gasförmige und flüssige Körper haben immer Wärme, mögen sie auch beliebig kalt sein. Aus all dem Mitgeteilten schließe ich, daß es ganz

überflüssig ist, die Wärme der Körper einem subtilen, speziell dazu erdachten Stoff zuzuschreiben.

Nachdem wir somit den Wärmestoff beseitigt haben, könnte man die Abhandlung schließen, wenn nicht einige Gelehrte auch der Kälte einen gewissen Stoff zuschreiben würden und dessen Sitz in den Salzen sähen, da diese beim Auflösen in Wasser Kälte erzeugen, wie zum Beispiel beim Mischen von Kochsalz mit Schwefelsäure, so könnten wir mit gleichem Recht den Salzen die Ursache der Wärme zuschreiben, wenn wir nicht solch einen unsinnigen Streit unter unserer Würde hielten."

Lomonossow wartete ungeduldig, daß die Gelehrten seine Arbeit zum Gegenstand eines wissenschaftlichen Meinungsstreites machten, in dessen Verlauf sich Argument und Gegenargument, Einwand und Zurückweisung gegenüberstehen würden. Schritt für Schritt würde man so der Wahrheit näherkommen, jeder Interessierte wäre an der Klärung der Probleme beteiligt, und ein großer Kreis von Wissenschaftlern und Studenten würde mit den neuen Erkenntnissen vertraut werden.

Doch Lomonossows Erwartungen wurden nicht erfüllt.

Die meisten Wissenschaftler setzten sich mit seinen Argumenten nicht unvoreingenommen auseinander. Statt ihre Zweifel oder Gegenbeweise vorzubringen, taten sie das, was sich in der Geschichte der Wissenschaften noch so häufig wiederholen sollte: Sie lehnten das Neue von vornherein in Bausch und Bogen ab, unfähig, sich von ihren traditionellen Vorstellungen - in denen sie sich heimisch fühlten, mit denen sie bisher alles recht gut erklären konnten - frei zu machen. Viele verstanden ihn nicht, andere rissen wichtige Gedankenverbindungen auseinander, verdrehten den Sinn mancher Sätze und wiesen nach, daß seine Wärmetheorie "unsinning" sei.

Lomonossows Wärmetheorie geriet in Vergessenheit. Erst 100 Jahre nach seinem Tode wurde ihr durch Robert Mayer,

James Joule und Rudolf Clausius zum Siege verholfen. Aber nur ihre Namen verknüpfen sich mit dem Begriff der "Kinetischen Wärmetheorie"; sie gelten allgemein als die Entdecker.

Man schreibt das Jahr 1748. Die Arbeiten am chemischen Laboratorium gehen ihrem Ende entgegen. Noch sind Fenster und Türen ungestrichen, noch sind die Ofensetzer dabei, die 9 verschiedenen Ofentypen zu errichten, da beginnt Lomonossow bereits mit der Arbeit; er hat lange genug gewartet.

Jetzt ist nämlich eine Frage aufgetaucht, die mit seiner Wärmetheorie in Widerspruch zu stehen schien: viele Körper vergrößerten beim Erwärmen nicht nur ihr Volumen, sondern auch ihr Gewicht; sie wurden beim Erhitzen schwerer. Schon Boyle hatte diese Feststellung gemacht. Er hatte eine abgewogene Menge Blei eingeschlossen in einem Glasgefäß der Einwirkung einer Flamme ausgesetzt; als er nach dem Erhitzen das Gewicht des Bleis kontrollierte, da war es wesentlich schwerer geworden. Irgend etwas war also zum Blei hinzugetreten. Boyle hatte daraus gefolgert, daß sich die Feuerpartikelchen der Flamme durch das Glas hindurch mit dem Blei verbunden hatten, Partikelchen, die viele Wissenschaftler dem Wärmestoff gleichsetzten.

Wenn diese Beobachtung richtig war, dann kam Lomonossows Theorie in Gefahr. Es galt jetzt, die Angaben Boyles schnellstens zu überprüfen. Dazu brauchte Lomonossow aber Glasgeräte, Öfen und vor allem eine Waage, die gestattete, sehr genau zu wiegen, auf 1/10 000 Gramm genau. Alles das stand ihm in dem neuen Laboratorium zur Verfügung.

Lomonossow hatte einen glänzenden Einfall, einen Einfall, der ihn nicht nur an die Klärung des Problems, sondern zugleich an eine neue große Entdeckung heranführen sollte.

Er wiederholt den Boyleschen Versuch, erhitzt ein

Stück Blei in einem zugeschmolzenen Glasröhrchen zwei Stunden lang in der Flamme einer Spirituslampe, läßt es abkühlen und sprengt darauf die dünne Spitze der Röhre ab, während er die kleine Flamme einer Wachskerze dicht vor die entstehende Öffnung hält. Ein feiner Pfeifton ist zu hören, die steile Flamme zuckt, wird niedergedrückt und zum Glas hineingezogen.

Das war eindeutig: Die Luft strömte von außen in das Glas hinein. Der Druck im Glase hatte sich also während des Erhitzens nicht vergrößert, sondern verringert; ein Teil der Luft war aus dem Glase verschwunden. Wo war sie geblieben? Während Lomonossow über diese Frage nachsinnt, wiegt er das Bleistück und findet Boyles Behauptung bestätigt: Es war tatsächlich schwerer geworden.

Lomonossow verlebt unruhige Tage und Nächte. Warum wurde das Metall schwerer und die Luft leichter? - Hingen beide Erscheinungen nicht unmittelbar zusammen? Spielten sie sich nicht während eines Vorgangs ab? War die eine Erscheinung nicht vielleicht die Ursache der anderen? Wo war die Luft verschwunden?

War es nicht möglich, daß das Blei während des Erhitzens den Teil der Luft in sich aufgenommen hatte, der nach dem Öffnen fehlte?

Mit dem Blei ging während des Erhitzens ja eine Veränderung vor, denn nach dem Versuch lag es nicht mehr als Metall am Boden des Glases, sondern als Bleikalk.

Sollte sich dieser Metallkalk durch Vereinigung von Metall und Luft gebildet haben?

Es war eine vage Vermutung, die Lomonossow hier aussprach, eine kühne Kombination zweier Beobachtungen, die eng miteinander zusammenzuhängen schienen. Bevor er diese Hypothese der Welt bekanntgeben durfte, mußte er sie erst durch Experimente festigen, mußte er seine Vermutungen beweisen!

Die Ergebnisse der Versuche bestätigten Lomonossow, was er vermutet hatte. Das Zinn und die anderen Metallstücke vereinigten sich während des Erhitzens in dem zugeschmolzenen Glasgefäß mit einem Teil der Luft! Nur so konnte das Gesamtgewicht des Gefäßes unverändert bleiben; um den gleichen Teil, den das Metall schwerer wurde, mußte die Luft leichter, dünner werden. Wenn er die Spitze des Gefäßes abbrach, strömte Luft hinein, um den verdünnten Raum wieder auszufüllen. Darum war auch das geöffnete Glas nach dem Versuch schwerer, denn Außenluft war zusätzlich hineingeströmt.

Jetzt brauchte er nur noch die Metallstückchen zu wiegen, um zu erfahren, ob sie tatsächlich einen Teil der Luft in sich aufgenommen hatten. Vorsichtig entfernt er das verkalkte Zinnstück aus dem Glas und wiegt es. Wie erwartet, schlägt die Zeiger aus. Das Zinn ist um einen beachtlichen Teil schwerer als vor dem Erhitzen. Er wiegt Blei und Zink - mit dem gleichen Ergebnis.

Noch in der gleichen Nacht schreibt Lomonossow einen Brief an Leonhard Euler, teilt ihm seine Untersuchungen mit und formuliert den Zusammenhang, der zwischen der Luft und einem Körper während der Verbrennung besteht:

"Durch diese Theorie wird gänzlich die Meinung über das in den verbrannten Körpern fixierte Feuer beseitigt. Es ist kein Zweifel vorhanden, daß die Luftpartikelchen, die immer über den glühenden Körper fließen, sich mit ihm verbinden und sein Gewicht vergrößern."

Damit war eindeutig bewiesen, daß die Metalle beim Erhitzen nicht schwerer wurden, weil sich der Wärmestoff mit ihnen vereinigte, sondern weil ein Teil der Luft zu diesen Metallen hinzutrat und sich mit ihnen verband.

Damit aber waren nicht nur der Wärmestofftheorie, sondern zugleich auch der Phlogistontheorie ihre Grundlagen entzogen. Stahls Phlogiston, das den Verbrennungsprozeß und damit auch die Verkalkung des Metalls erklären

sollte, war der Kampf angesagt.

Doch auch diese Theorie Lomonossows erlitt das gleiche Schicksal wie jene über die Ursache der Wärme und Kälte. Trotz eindeutiger Beweise wurde sie nicht beachtet, wohl auch wenig bekannt. Die Wissenschaftler bedienten sich weiterhin der Theorie Stahls und versuchten, sie aufzubauen und ihre Widersprüche zu beseitigen. In der gleichen Zeit, in der sich Lomonossow mit dem Problem der Verbrennung beschäftigt, arbeitet er an chemischen Verfahren, die unmittelbaren praktischen, industriellen Nutzen haben. Er untersucht nicht nur Erze, er will nicht nur synthetische Farbstoffe gewinnen, sondern er spürt auch dem Geheimnis nach, Porzellan und gefärbte Gläser herzustellen.

Die bunten Glasschmelzen beabsichtigt er zu etwas ganz Besonderem zu verwenden: zu Mosaiksteinchen. Von der jahrhundertealten italienischen Mosaikkunst begeistert, will Lomonossow diese Kunst auch in Rußland zum Leben erwecken. Da aber die italienischen Mosaiker ihre Verfahren zur Herstellung der bunten Glasflüsse streng geheimgehalten haben, muß er eigene Versuche anstellen.

So steht er von morgens bis abends im Laboratorium und führt im Verlauf von 2 Jahren rund 4000 Versuche mit Glasflüssen durch.

In seinem Tagebuch macht er genaue Eintragungen über jeden einzelnen Versuch, notiert das Gewicht der verwendeten Stoffe, die Schmelzverfahren und Resultate. Allmählich macht er die Zusammensetzung der Gläser immer komplizierter. Schließlich entdeckt er ein Verfahren, das ihm ermöglicht, gefärbte Glasschmelzflüsse in jedem beliebigen Farbton zu erzeugen. Niemand in Rußland aber kannte die Kunst der Mosaiker. Nun muß Lomonossow auch selbst einen Mörtel bereiten, der geeignet ist, die kleinen Würfelchen auf der kupfernen Unterlage zu befestigen, und muß sich schließlich auch selbst noch zum

Mosaikkünstler ausbilden. Wie hervorragend ihm auch diese Aufgabe gelang, beweisen seine vielen Mosaikgemälde.

=====

Lomonossow hatte nicht nur das allgemeine Naturgesetz von der Erhaltung der Masse und Energie entdeckt, er hatte nicht nur den spekulativen Ideen vom Wärme- und Kältestoff, vom Phlogiston, Licht- und Schwerestoff ihre Existenzberechtigung entzogen und bessere Theorien an ihre Stelle gesetzt, sondern er hatte den Wissenschaftlern zugleich die richtige Forschungsmethode, die sich an der Dialektik der Natur orientiert, aufgezeigt.

Zwar folgten die Wissenschaftler nicht unmittelbar seinem revolutionären Beispiel. - Die meisten verstanden ihn nicht oder gaben sich wenig Mühe, ihn zu verstehen. Noch waren sie ja in der Lage, sich mit Hilfe der Phlogistontheorie zu orientieren. Noch überwogen ihre Vorzüge die von Lomonossow aufgedeckte Mängel. Doch was in der Geschichte einmal an fruchtbaren Ideen gesät worden war, das fand eines Tages auch den Boden, in dem es keimen und aufwachsen konnte.

DIE MODERNE CHEMIE WIRD BEGRÜNDET ¹⁾

Das 18. Jahrhundert geht seinem Ende entgegen. Eine Menge chemischer Kenntnisse ist gesammelt, in der gewerblichen Produktion angewendet und theoretisch verarbeitet worden. Noch immer gibt es jedoch keine Theorie, die den Ablauf der chemischen Prozesse so widerspiegelt, wie er sich wirklich vollzieht. Noch immer sind die Naturforscher nicht sicher in der Lage, die chemischen Vorgänge zu erkennen, zu begreifen, die Stoffe zu "analysieren", um nach ihrem Willen "synthetisch" die Verbindungen herzustellen, die in zunehmendem Maße von der aufstrebenden Industrie verlangt werden. Zwar haben sie damit eine Reihe beachtlicher Erfolge erzielt, wie zum Beispiel der Engländer Cortis, der im Jahre 1784 durch die Entdeckung des "Puddelverfahrens" die Holzkohle bei der Stahlgewinnung durch Steinkohlenkoks ersetzen konnte. Noch zu Beginn des 18. Jahrhunderts waren nämlich Eisen und Stahl nur mit Hilfe von Holzkohle erzeugt worden. So hatte die Stahlgewinnung gegen Ende des 18. Jahrhunderts einen gewaltigen Aufschwung genommen, obgleich man die chemischen Vorgänge nicht richtig erklären konnte.

Ähnlich war es auf dem Gebiet der Textilindustrie gewesen, die sich ebenfalls zu dieser Zeit mächtig zu entfalten begann. Der im Jahre 1760 verbesserte Webstuhl, die von Arkwright, Hargreaves und Crompton in den Jahren 1765 bis 1775 erfundenen Spinnmaschinen und der in Amerika aufgenommene plantagenmäßige Anbau von Baumwolle

1)

I. Strube, Bilder chemischer Vergangenheit, Leipzig/Jena, 1960.

hatten die Voraussetzungen dafür gebildet. Die Erzeugung baumwollener Stoffe stieg sprunghaft an. Doch die Baumwollfaser war bräunlich; sie mußte gereinigt, gebleicht und gefärbt werden. Die oft Tage und Wochen dauernde Rasenbleiche hatte sich diesem Anstieg der Produktion nicht gewachsen gezeigt, und so war eine der Entdeckungen Scheeles, das Chlor, gerade rechtzeitig gekommen, um von dem französischen Chemiker Berthollet im Jahre 1785 industriell verwertet zu werden: Er verwendete das Chlor zum Bleichen von Geweben; der Vorgang, der erst Wochen gedauert hatte, vollzog sich jetzt in wenigen Stunden.

Im Jahre 1774 hatte der sächsische Bergrat Barth beim Experimentieren entdeckt, daß sich Indigo nach Behandlung mit Schwefelsäure für die Wollfärberei eignete. Dies führte zu einer stärkeren Produktion von Schwefelsäure, die schon seit dem Jahre 1746 nach dem sogenannten Bleikammerverfahren industriell erzeugt wurde. Auch die Gewinnung der Schwefelsäure basierte auf einer Beobachtung, daß Schwefeltrioxid sich beim Verbrennen von Schwefel in Gegenwart von Salpeter bildet. Die Schwefelsäure wurde bald zu einem sehr gefragten Artikel. Die Textilindustrie verbrauchte große Mengen; denn man hatte erkannt, daß Schwefelsäure sich viel besser als Milchsäure zum Absäuren der zu bleichenden Leinwand eignete. Neue Farbstoffe wurden entdeckt, zu deren Herstellung Schwefelsäure gebraucht wurde; die Fabrikanten mußten ernstlich an die Verbesserung ihrer Verfahren und die Steigerung der Produktion denken. Doch wie sollten sie das erreichen? Wieder waren sie vorwiegend auf Experimentieren und Probieren angewiesen, genau so wie jene Wissenschaftler, die sich bemühten, einen anderen chemischen Stoff - die Soda - auf synthetischem Wege herzustellen. Auch Soda war durch die aufstrebende Textil- und Glasindustrie zu einem immer begehrteren Artikel geworden. Die Einfuhr an "Trona" aus den ägyptischen Sodaseen und an "Barilla" aus Spanien, einer

Bohsoda, die aus der Asche verbrannter Meerespflanzen gewonnen wurde, mußte immer mehr erhöht werden. Pottasche, die als Ersatz für Soda in vielen Ländern aus Holzasche gewonnen wurde, stand ebenfalls nicht in unbegrenzter Menge zur Verfügung.

Deshalb hatte die Französische Akademie der Wissenschaften im Jahre 1775 einen Preis von 12000 Livres ausgesetzt für das rationellste Verfahren, Soda aus Kochsalz herzustellen.

Viele Forscher beteiligten sich an diesem Preisausschreiben, aber wieder waren sie vorwiegend auf Probieren angewiesen. Immer spürbarer machte sich das Fehlen einer richtigen chemischen Theorie bemerkbar; sie mußte entwickelt werden. Die empowachsende Industrie, die Unzulänglichkeiten und Widersprüche der alten Theorien forderten es, und die Fülle des angesammelten Tatsachenmaterials ermöglichte es. Es bedurfte aber der unvoreingenommenen Forscher, die sich aus den Fesseln der Phlogistik befreien und die chemischen Beobachtungen kritisch verarbeiten konnten. Auch diese Gelehrten wurden im 18. Jahrhundert geboren. Der bedeutendste unter ihnen war Antoine Laurent Lavoisier.

Ursprünglich hatte er wie sein Vater Jurist werden wollen; als er aber auf der Pariser Universität die interessanten chemischen Experimente des Professors Rouelle beobachtete und die erklärenden Vorlesungen anhörte, als er den Botaniker Jussieu und den Mathematiker La Caille kennenlernte, wurde er mit immer stärkerer Gewalt aus dem Reiche der menschlichen Gesetze und Paragraphen in das Reich der kaum noch entdeckten Naturgesetze gezogen.

Bei seinen umfangreichen Literaturstudien stieß Lavoisier sehr bald auf jenes Problem, das die Gelehrten der ganzen Welt beschäftigte und dennoch keine eigentliche Erklärung erfahren hatte: Welche Rolle spielte die Luft bei der Verbrennung? Das war die Frage, bei der Lavoisier

genau merkte, daß es immer schwerer wurde, die Erscheinungen mit Hilfe der Phlogistontheorie zu erklären.

Die bekannten Versuche Boyles, Zinn und Blei in abgeschlossenen Glasgefäßen zu erhitzen, regten wie seinerzeit Lomonossow auch Lavoisier dazu an, sie zu wiederholen, um das Ergebnis kritisch zu verarbeiten. Bekanntlich hatte Boyle gerunden, daß die Metalle nach dem Verkalken schwerer sind und hatte die Gewichtszunahme durch die Vermutung erklärt, daß die Feuerpartikelchen der Flamme durch das Glas hindurchgedrungen wären und sich mit den Metallen vereinigt hätten.

Wie Lomonossow findet auch Lavoisier, daß die Schlußfolgerungen Boyles falsch sind. Als er nämlich die noch verschlossenen Gläschen mit den verkalkten Metallen wiegt, stellt er fest, daß sich das Gesamtgewicht von Glas und verkalktem Metall um kein Milligramm verändert hat, also gar nichts von außen zu den Metallen hinzugetreten sein kann.

Wenn Boyle dennoch behauptet, so überlegte Lavoisier nach dieser Feststellung, daß die Metalle nach dem Verkalken schwerer sind, dann kann diese Gewichtszunahme nur durch etwas bewirkt worden sein, das sich innerhalb des Glases befunden hatte. Dieses Etwas mußte dabei um genau so viel leichter geworden sein, wie die Metalle schwerer. Nur so war die Möglichkeit gegeben, daß die Gesamtgewichte vor und nach der Verkalkung gleich waren.

Bis zu dieser Erkenntnis unterscheidet sich Lavoisiers Erklärung in nichts von der seines russischen Kollegen. Nun ist Lavoisier aber als Kind seiner Zeit mit Untersuchungsergebnissen bekannt, die Lomonossow noch nicht kannte, und er schließt deshalb nicht nur wie Lomonossow: "Es ist die Luft, die sich mit den Metallen bei der Verkalkung verbindet und sie schwerer macht", sondern folgert genauer: "Es ist ein Fünftel der Luft, das die

Verkalkung der Metalle bewirkt und ihr Gewicht vergrößert.*

Denn daß nur ein Fünftel der Luft zur Verbrennung und Atmung tauglich ist, das wußte Lavoisier aus den Untersuchungen Priestleys, der sie 1772 erstmalig bekanntgemacht hatte; das wußte er auch aus eigener Erfahrung, denn er hatte diese Versuche sofort auf ihre Zuverlässigkeit hin untersucht.

Was er aber nicht zu sagen wußte, war: Was für ein Stoff ist dieses Luftfünftel, das so wunderbare Eigenschaften besitzt, daß es die Atmung und Verbrennung unterhalten kann?

Lavoisier brauchte kein Phlogiston zur Erklärung des Verbrennungsvorgangs. Bei seinen Wägungen hatte er gefunden, daß das Fünftel Luft, das aus dem Ausgangsvolumen verschwunden war, sich mit den Metallen verbunden und deren Gewicht um den Teil vergrößert hatte, um den das Gewicht der Luft geringer geworden war. Wozu sollte er sich da unnötig mit einem Phlogiston belasten? Vorläufig brauchte er es jedenfalls nicht, sondern für ihn war zu klären: Was ist dieses Luftfünftel für ein Stoff, der sich beim Verkalken mit den Substanzen verbindet?

Endlich, nach vielen Versuchen und Experimenten war die Jagd nach dem Luftfünftel, das bei der Verbrennung verschwindet, beendet. Das Luftfünftel selbst war genau charakterisiert und sein Verbleib eindeutig nachgewiesen worden. Die Frage, welche Rolle die Luft bei der Verbrennung spielt, war für Lavoisier auf ganz einfache Weise gelöst. Während Priestly in England noch gar nicht so recht weiß, was er mit seiner wunderbaren Luftart für eine Entdeckung gemacht hat und noch dabei ist, festzustellen, ob sie vielleicht mit der dephlogistisierten Salpeterluft identisch ist, während Scheele in Upsala in meisterhafter Gedankenakrobatik zu dem Schlusse gekommen ist, daß beim Verbrennen sich das Phlogiston der Körper mit dieser

Feuerluft zu Wärme verbindet und deshalb aus dem ursprünglichen Luftvolumen verschwindet, braucht Lavoisier das Phlogiston, das die Geister fast 80 Jahre in seinem Bann gehalten hat, nicht länger zur Erklärung des Verbrennungsprozesses. "Lebensluft" nennt er von nun an jenen fünften Teil der Luft, der für die Verbrennung und Atmung Voraussetzung ist, und "stickige Luft" die anderen $4/5$, die weder Verbrennung noch Atmung unterhalten.

Lavoisier ist der erste, der die Gesamtheit des Verbrennungsprozesses begriffen hat. Am 5. September 1777 darf er seine neue Hypothese vor den Mitgliedern der Französischen Akademie der Wissenschaften vortragen. Verwundert über die völlig neuen, kühnen Vorstellungen, aber begeistert von der klaren logischen Beweisführung Lavoisiers folgen die Wissenschaftler seinen Ausführungen.

"Die Vorgänge bei der Verbrennung und Kalzination der Metalle werden durch Stahls Hypothese in sehr geschickter Weise erklärt", beginnt Lavoisier seinen Vortrag. Sie verlangt jedoch die Voraussetzung des in den Metallen gebundenen Feuerstoffs, des Phlogistons... Fragt man aber die Anhänger dieser Theorie, wie sie das Vorhandensein des Feuerstoffes in den brennbaren Substanzen beweisen, so verfallen sie in einen Zirkelschluß. Die Körper brennen, weil sie Feuerstoff enthalten, und sie enthalten eben Feuerstoff, weil sie brennbar sind. So wird die Verbrennung durch die Verbrennung erklärt.

Die Annahme von Feuerstoff und Phlogiston in den Metallen, dem Schwefel usw. ist zwar nichts als eine Hypothese, die, wenn einmal zugelassen, manches erklärt; zeige ich aber, daß alle diese Verbrennungserscheinungen sich auf ganz natürliche Weise mit der entgegengesetzten Hypothese erklären lassen ..., so erschüttere ich Stahls Hypothese bis auf den Grund."

Und nun trägt Lavoisier den lauschenden Zuhörern

die Gedanken seiner neuen Theorie vor, so wie er sie aus seinen Untersuchungsergebnissen gefolgert hat; seine neue Theorie, die den Verbrennungsvorgang nicht dadurch erklärt, daß sich dabei das hypothetische Phlogiston aus den Körpern entfernt, sondern dadurch, daß sich der wirklich existierende Sauerstoff mit ihnen verbindet.

In der öffentlichen Versammlung der Königlichen Akademie der Wissenschaften zu Paris vom 18. April 1787 trägt Lavoisier eine Abhandlung vor, die er gemeinsam mit den Herren de Morveau, Berthollet und de Fourcroy ausgearbeitet hat. Ihr Titel "Über die Notwendigkeit, die chemische Nomenklatur umzuändern und zu vervollkommen" offenbart bereits die Absicht der Kommission, die Namen der chemischen Substanzen so zu verändern, daß daraus ihr Aufbau und ihre Zusammensetzung direkt ersichtlich werden.

14 Tage später tagt die Akademie erneut. Diesmal spricht Herr de Morveau im Auftrage der Kommission über die "Entwicklung der Grundsätze der methodischen Nomenklatur".

"In dem Plane, den wir entworfen haben", beginnt de Morveau seinen knappen, konzentrierten Bericht, "mußten besonders die einfachen Körper unsere Aufmerksamkeit auf sich ziehen, weil die Benennungen der zusammengesetzten Körper sich notwendig aus den Benennungen der einfachen Körper ergeben müssen."

Dann führt er jene Substanzen auf, die sich am meisten dem einfachen, elementaren Zustande nähern. Zu ihnen rechnet er neben der Lebensluft zum Beispiel die brennbare Luft und die Stickluft.

"Lebensluft" haben wir in "Oxygene" (Sauerstoff) umgewandelt, weil sie bei der Verbrennung die meisten Stoffe in Säuren verwandelt. Die bisher als Kalke bezeichneten Stoffe nennen wir Oxide. Die Bezeichnung "brennbare Luft" veränderten wir in "Wasserstoff", "Hydrogene", weil seine charakteristische Eigenschaft darin besteht, mit Sauer-

stoff Wasser zu erzeugen. Die "Stickluft" haben wir in "Stickstoff", "Azote", umbenannt, weil sie das Leben der Tiere nicht unterhält, also dem Leben schädlich ist.

Für die verschiedenen Säuren haben wir immer die Stammelemente als Grundlage für ihre Bezeichnung genommen. Wir nennen also eine Säure, die sich vom Schwefel ableitet: Schwefelsäure anstatt Vitriolsäure; die sich vom Phosphor ableitet: Phosphorsäure; die sich von der Kohle ableitet: Kohlensäure anstatt Luftsäure... Die verschiedenen Säuren des Schwefels und die daraus ableitenden Salze unterscheiden wir nach ihrem mehr oder minder großen Gehalt an Sauerstoff..." An einer Tabelle, die Morveau vor seinen Zuhörern entrollen ließ, machte er ihnen die Systematik der neuen Bezeichnungen deutlich.

Noch einmal weist de Morveau auf die Bedeutung der Namensänderungen hin: "Unsere neuen Bezeichnungen treffen das Wesen, den Kern der Sache; jeder kann sich aus den neuen Namen genau überlegen, mit welcher Substanz er es zu tun hat. Deshalb verwerfen wir von vornherein solche Anreichtungen, die uns nachweisen wollen, daß unsere Namen hart und barbarisch seien. Die Namen: zerflossenes Weinsteinöl, Vitriolöl, Arsenikbutter, Spießglaubutter und Zinkblume sind weit unschicklicher, weil sie falsche Begriffe erwecken; denn eigentlich existieren im Mineral- und vorzüglich im Metallreiche weder Butter, Öl noch Blumen; und die unter so verführerischen Namen aufgeführten Substanzen sind nicht selten die stärksten Gifte."

Alte Nomenklatur

Vitriolsäure
Operment
mineralisches Moor
Bleiglanz

Neue Nomenklatur

Schwefelsäure
geschwefelter Arsenik
geschwefeltes Quecksilber
geschwefeltes Blei

Schwefelleber, die das vegetabilische Alkali zur Basis hat	geschwefeltes Alkali
Schwefelleber, die das mineralische Alkali zur Basis hat	geschwefelte Soda
Gips	schwefelsaurer Kalk
Epsamer Bittersalz	schwefelsaures Magnesium
Zinkvitriol	schwefelsaures Zink
Alaun	schwefelsaure Tonerde
Cyprischer Vitriol	schwefelsaures Kupfer
Glaubers geheimer Salmiak	schwefelsaures Ammoniak

Dem Vortrag folgt ein heftiger Applaus der Akademiemitglieder. Am 13. Juni 1787 wird das Gutachten über die neue Theorie und die neue Nomenklatur verlesen, das man eigens von den "Phlogistikern" unter den Mitgliedern der Akademie hatte anfertigen lassen. Wenn es ihnen auch recht schwergefallen war, ihrer alten Lehre den Laufpaß zu geben, so mußten sie der neuen Theorie und Nomenklatur angesichts ihrer Beweiskraft und offensichtlichen Vorzüge ihre Zustimmung geben.

KUNSTSTOFFE AUS KOHLE? 1)

Kunststoffe aus Kohle. Dies ist ein heute oft gebrauchtes Schlagwort. Der Laie schüttelt darüber ungläubig den Kopf, weil es ihm schier unfassbar erscheint, daß aus dem schwarzen, stückigen Material, das seinen Ofen wärmt, buntfarbige Haushaltsgegenstände, seidene Wäsche oder wollige Kleidung entstehen sollen.

Aber auch der Fachmann steht manchmal etwas beklommen vor diesem Schlagwort, weil er in der vereinfachten Aussage eine Gefahr für das Verstehen der Zusammenhänge fürchtet. Weiß er doch, wie vieler Reaktionen und Umwandlungen es bedarf, bis ein Kunststoff gebildet ist. Diese Aussage ist richtig, wenn damit festgestellt werden soll, daß wir von der Kohle ausgehen. Doch schon in der ersten Umwandlungsstufe verlieren wir diese aus den Augen, weil sie sich in eine Vielzahl chemischer Verbindungen umgewandelt hat.

Lange war der bei der Entgasung der Kohle anfallende Teer ein Abfallprodukt. Im Laufe der Zeit entdeckte man in ihm immer mehr Verbindungen, die als Ausgangsstoffe für Farbstoffe und Arzneimittel dienten. Man hat bis jetzt etwa 150 chemische Verbindungen aus dem Steinkohlenteer in reiner Form isolieren können.

Auch das Phenol haben wir hier zu suchen. Es wurde von dem deutschen Chemiker Runge im Jahre 1834 im Steinkohlenteer entdeckt und seiner sauren Eigenschaften wegen Karbolsäure genannt. Sein Auftreten im Teer ist uns heute kein Rätsel mehr.

1)
H. Raubach, Farbenfrohe Leichtgewichte, Leipzig-Jena, 1960.

Wir wissen, daß die Kohle pflanzlicher Herkunft ist. Als in den mehr oder weniger weit zurückliegenden Zeiten der erdgeschichtlichen Entwicklung die Wälder versanken, und das Holz sich in Kohle verwandelte, ist nichts anderes eingetreten, als daß die luftdicht abgeschlossenen Kohlenwasserstoffverbindungen des Holzes an Sauerstoff, Wasserstoff, Stickstoff und Schwefel verarmten. In demselben Maße stieg der prozentuale Kohlenstoffgehalt stetig an. Bei der geologisch ältesten Kohle, dem Anthrazit, ist er am höchsten. Ihm folgen Steinkohle und Braunkohle.

Der neben der Zellulose wichtigste Baustein des Holzes aber ist das sogenannte Lignin, das seines Vorkommens wegen nach dem lateinischen Wort "lignum" (Holz) benannt wurde. Das Lignin ist ein makromolekularer Stoff, der in seinen Molekülen phenolartige Gruppierungen enthält, die mit anderen Molekülgruppen chemisch verbunden sind. Da dieser Phenolkörper chemisch stabiler als die Zellulose ist, reicherte er sich im Laufe der Jahrtausende in der Kohle an.

Bei den Temperaturen, die bei der Entgasung der Kohle angewendet werden, zerbrechen auch die Ligninmoleküle, und es bilden sich je nach dem Grad der Spaltung verschiedene Phenole. Neben dem eigentlichen Phenol entstehen Methyl- und Dimethylphenole - die sogenannten Kresole und Xylenole. Seifenlösungen von Kresolen finden als Desinfektionsmittel Verwendung und werden Ihnen ihres typischen Geruches wegen sicher in Erinnerung bleiben.

Aus dem Steinkohlenteer werden diese Phenole mit verdünnten Laugen extrahiert. Sie liefern beim Ansäuern ein Gemisch, das Rohphenol. Wird dieses Gemisch sorgfältig destilliert, so läßt sich das Phenol von den Kresolen abtrennen und in reiner Form gewinnen. Man kann aber zur Herstellung der Phenolharze auch schon das Rohphenol verwenden, da auch die Kresole und Xylenole mit Formaldehyd

Kondensationsprodukte ergeben. Für besondere Zwecke stellt man überhaupt nur Kresol- Formaldehyd-Harze her.

Die aus dem Steinkohlen- und Braunkohlenteer gewinnbaren Phenolmengen haben schon vor dem Aufkommen Phenolharze nicht mehr die chemischen Industrie decken können. Aus diesem Grunde sind verschiedene Verfahren zur Synthese von Phenol entwickelt worden. Eine der modernsten Phenolsynthesen geht von einer Verbindung aus, die sich leicht aus dem Erdöl gewinnen läßt.

Ebenso wie das Phenol hat auch der Formaldehyd seinen Ursprung in der Kohle.

Wird Wasserdampf durch glühenden Koks geleitet, so entsteht Wassergas, ein Gemisch aus Wasserstoff und Kohlenmonoxid. Mischt man dem Wassergas weiteren Wasserstoff bei und erhitzt es auf 350 bis 400° C unter einem Druck von 200 at bei Anwesenheit von Chrom- und Zinkoxid, so entsteht Methylalkohol. Früher wurde er durch Trockendestillation von Holz gewonnen, weshalb er auch Holzgeist genannt wurde. Der Methylalkohol ist der einfachste Vertreter der Alkohole. (Im Gegensatz zum Äthylalkohol führt sein Genuß zu lebensgefährlichen Vergiftungen, die sich zunächst im Verlust des Sehvermögens bemerkbar machen).

Werden nun die Dämpfe von Methylalkohol im Gemisch mit Luftsauerstoff über Drahtnetze aus Kupfer oder Silber geleitet, so entsteht der Formaldehyd als ein stechend riechendes Gas. Eine wäßrige Lösung dieses Gases ist als Formalinlösung den meisten als Desinfektionsmittel bekannt.

Die eben genannten Verbindungen Chrom- und Zinkoxid bzw. Silber wirken als Katalysatoren, das heißt, sie selbst nehmen an den Umsetzungen nicht teil, beschleunigen diese aber so stark, daß sie überhaupt erst einmal technisch brauchbar werden. Ohne Katalysatoren würden die Stoffe erst in einigen Wochen, vielleicht auch erst in einigen Jahren nennenswerte Mengen der gewünschten Produk-

te ergeben. Deshalb setzt die moderne chemische Technik in immer stärkerem Maße Katalysatoren ein. Aber nicht nur die Reaktionsgeschwindigkeit, sondern auch die Reaktionsweise wird von ihnen beeinflusst.

Jahrtausende begnügt sich der Mensch mit den von der Naturhervorgebrachten Werkstoffen. Erst im 19. Jahrhundert beginnt er, einige Naturprodukte chemisch zu veredeln, schafft sich dadurch Werkstoffe mit völlig neuen Eigenschaften. Man vulkanisiert den Naturkautschuk mit Schwefel zu Gummi, verarbeitet Baumwollzellulose zu Zelluloid und Kunstseide, Zellstoff zu Vulkanfiber. Man verkocht die verschiedensten Naturharze und -öle miteinander zu Lacken, die Knochen und Knorpel zu Leim und setzt schließlich Kasein mit Formaldehyd zu Galalith um.

In diesen Fällen aber geht man rein empirisch vor, ohne Kenntnis vom chemischen Wesen und vom Bauprinzip dieser Stoffe. Man tappt im Dunkeln. Schon sind die ersten vollsynthetischen Harze, die Phenoplaste, im technischen Einsatz, aber man hat immer noch keine klaren Vorstellungen. Zwar sind inzwischen von der chemischen Forschung durch Abbaureaktionen und Synthesen recht viele Einzelergebnisse gesammelt, man erahnt vieles; doch es fehlt der Beweis. Erst als Staudinger Ende der zwanziger Jahre unseres Jahrhunderts die Struktur des Naturkautschuks und der Zellulose aufklärt, ist das Geheimnis um das Makromolekül gelüftet, erhalten Kunststoffforschung und -produktion wissenschaftliche Grundlagen. Dies drückt sich sofort in den Produktionszahlen aus. Während die Welterzeugung der Plaststoffe in den Jahren von 1900 bis 1929 nur allmählich von 10 000t auf 90 000t je Jahr gestiegen ist, beginnt nun ein sprunghafter Anstieg. Im Jahre 1935 werden 220 000t, im Jahre 1945 500 000t und im Jahre 1955 bereits 3 Millionen t an Plasten erzeugt.

Die Zellosederivate und die klassischen Kondens-

sationsprodukte auf Phenolformaldehydbasis werden dabei von den Polymerisationsprodukten überrundet. Polyvinylchlorid, Polystyrol und Polyäthylen setzen sich an die Spitze. Daneben aber entsteht eine riesige Zahl verschiedenster Polyvinylverbindungen. So wie Vinylchlorid durch Anlagerung von Chlorwasserstoff an Azetylen gebildet wird, entsteht bei Anlagerung von Essigsäure Vinylazetat und daraus Polyvinylazetat, das für Lacken, Anstreichfarben und Klebstoffe Verwendung findet. Aus Polyvinylazetat wieder gewinnt man durch Verseifung den wasserlöslichen Polyvinylalkohol, der als Schutzkolloid und Verdickungsmittel bei Pasten und Kremen der pharmazeutischen und kosmetischen Industrie oder in Form höhermolekularer Polymerisate zur Herstellung benzinfester Schläuche verwendet wird.

Polyvinylalkohol läßt sich wieder mit Aldehyden in die sogenannten Polyvinylazetate verwandeln, die als Lackrohstoff und Klebstoff eingesetzt werden. Große Bedeutung hat das Polyvinylbutyral in Form von Folien zur Herstellung von Mehrschichtsicherheitsglas erlangt, da es selbst bei UV-Bestrahlung nicht vergilbt und auch bei tiefer Temperatur eine gute Haftfestigkeit behält.

Die Umsetzung von Azetylen mit Alkoholen führt schließlich zu zahlreichen Polyvinyläthern, die ebenfalls je nach dem Polymerisationsgrad zähe Öle, klebrige Weichharze oder elastische Stoffe darstellen.

Dadurch, daß man Verbindungen der verschiedensten Stoffklassen mit Azetylen umsetzt, geht die Zahl der Polyvinylverbindungen bald in die Hunderte. Diese große Zahl von reinen Polymerisaten wird aber noch durch die mannigfachen Kombinationsmöglichkeiten der Vinylverbindungen zu Mischpolymerisaten erhöht. Hier sind vor allem Mischpolymerisate von Styrol mit Vinylamiden oder Methacrylnitril zu erwähnen, die heute bereits in einer Menge von

400 000 t im Jahre hergestellt werden.

Damit aber noch nicht genug. Durch sogenannte Propfpolymerisation bringt man auf schon fertige Molekülketten eines Polymers wie Polyvinylchlorid Seitenketten eines anderen Polymers. Die so entstandenen Pfropfpolymerisate lassen sich in einem größeren Temperaturbereich anwenden als die reinen Polymere.

Neue Polymerisationsverfahren wie die stereospezifische Polymerisation nach dem Verfahren von G. Natta und die Verwendung von Ziegler-Katalysatoren ergeben verbesserte Produkte. Während man früher z. B. Polypropylen nur zu einem Öl polymerisieren konnte, gelingt es nach diesem Verfahren, höhermolekulare Produkte mit einem Schmelzpunkt von 150°C zu erzeugen.

Immer höher werden die Anforderungen, die die moderne Technik an die Kunststoffe stellt. Luftfahrt, Elektrotechnik und Raketenbau, aber auch die chemische Industrie selbst benötigen Plaste, die Temperaturen von -100°C bis zu $+300^{\circ}\text{C}$ und mehr (bei Raketen kurzzeitig bis zu 2200°C) aushalten müssen.

Im Polytetrafluoräthylen und in den Silikonen finden wir derartige Polymere. Die seit etwa 1940 in den USA und in der Sowjetunion hergestellten Silikone sind siliziumorganische Verbindungen mit Siloxanketten vom Typ des Polydimethylsiloxans. Sie entstehen bei der Polykondensation von Dimethylsilandiol, das durch Hydrolyse aus Dimethyldichlorsilan gewonnen wird. Dieses erhält man nach einem relativ teuren Verfahren aus Sand, Chlor und Kohlenwasserstoffen.

Im VEB Chemiewerk Nünchritz werden derartige Silikone hergestellt, von denen die Produkte mit kürzeren Polysiloxanketten Öle, die mit längerkettigen kautschukartige Verbindungen darstellen. Die wasserabweisende Wirkung der Silikone wird in der Isoliertechnik und im

Bautenschutz ausgenutzt, Silikonöle werden in der Plastverarbeitung als Trenn- und Entformungsmittel verwendet. Silikonkautschuk ist in letzter Zeit in Kombination mit Kordgewebe aus Glasseide vorteilhaft als Bereifung von schnelllandenden Flugzeugen eingesetzt worden.

Nicht nur durch hohe Temperaturenbeständigkeit zeichnen sich diese Polymere aus, sie sind auch gegenüber chemischen Angriffen sehr beständig. Unübertroffen ist bis jetzt das Polytetrafluoräthylen, das nicht einmal von "Königswasser", diesem Gemisch aus konzentrierter Salpetersäure und Salzsäure, angegriffen wird.

Ebenfalls für Thermoplaste recht gute Wärmebeständigkeit zeigen die in den letzten Jahren aufgekommenen Polycarbonate, die durch Umsetzung von Dian mit Phosgen gewonnen werden. Sie besitzen bei glasklarem Aussehen und mechanisch hohen Werten eine Temperaturbeständigkeit von -100°C bis $+130^{\circ}\text{C}$.

Betrachtet man außer diesen genannten makromolekularen Werkstoffen noch die vielen Polykondensationsprodukte wie gesättigte und ungesättigte Polyester, Polyamide oder die Polyadditionsprodukte wie Polyurethane und Epoxydharze sowie deren Kombinationen untereinander oder mit Pheno- bzw. Aminoplasten, dann bekommt man ein ungefähres Bild von dem riesigen Reichtum an Werkstoffen, den uns die Chemie heute schon bietet. Das aber ist erst der Anfang. Täglich kommen zu den schon bekannten neue Polymere hinzu, Polymere mit ganz spezifischen Eigenschaften und besonderen Anwendungsgebieten. In den Forschungslaboratorien verfolgt man systematisch das Ziel, die Temperaturbeständigkeit, die mechanischen und elektrischen Eigenschaften zu verbessern; man sucht neue Herstellungsverfahren, die bessere und billigere Werkstoffe ergeben.

*stille, are
plastiken*

FAMILIE KUNSTSTOFF ¹⁾

Gestatten Sie, mein Name ist Kunststoff. Ich bin der jüngste Sohn einer kinderreichen Familie. Dem Namen nach werden wir Ihnen sicher bekannt sein.

Aber wissen Sie auch, daß kaum eine Stunde Ihres Tagesablaufes vergeht, in der Ihnen nicht wenigstens einer von uns über den Weg läuft.

Ja, man kann heute sagen: Wir Kunststoffe sind überall da, man kommt ohne uns nicht mehr aus.

Doch für diesen Erfolg waren erst die letzten dreißig Jahre ausschlaggebend. Bis dahin mußten wir eine harte Schule durchmachen, mußten lernen, uns den Wünschen des Kunden anzupassen.

Woran liegt es, daß heute keiner mehr unsere Dienste missen will? Meiner Ansicht nach verdanken wir es vor allem der Eigenschaft unserer Familie, jede nur mögliche Gestalt annehmen zu können. Eisernes Training ist dazu Voraussetzung gewesen. Wenn es der eine nicht mehr schafft, springt eben eines der jüngeren Geschwister für ihn ein. Wünscht man eine Kugel oder ein Rohr, eine Folie oder einen dünnen Faden - wir stehen immer zu Diensten. Außerdem treten wir in allen möglichen Farben auf. Wenn es sein muß, sind wir sogar durchsichtig wie Glas.

Unser oberster Grundsatz aber ist, den Menschen das Leben zu erleichtern. Das haben wir ja auch

1)

H. Raubach, Farbenfrohe Leichtgewichte, Leipzig-Jena, 1960.

meistens geschafft - zumindest was unser Gewicht betrifft.

Zu Anfang dieses Jahrhunderts suchte die Elektroindustrie einen billigen Isolierstoff. Mein Bruder Bakelit, damals blutjung, sollte hier das Rennen machen und damit auch der ganzen Familie Kunststoff zu großem Ansehen verhelfen. Heute gibt es wohl kaum einen Elektrofachmann, der nicht wüßte, daß ohne uns Elektroindustrie und Hochfrequenztechnik niemals diesen riesigen Aufschwung genommen hätten.

Meinem Bruder Bakelit sind später einige jüngere Geschwister in diesen Zweig der Technik gefolgt.

Was wäre die Photo- und Filmindustrie ohne Zelluloid? Und Sie selbst, lieber Leser? Wie nehmen Sie die Dienste der Kunststoffe in Anspruch?

Der Wecker klingelt. Sie drücken auf den Knopf aus Kunststoff; wir wünschen Ihnen einen guten Morgen. Sie schalten das Licht ein, gehen ins Bad und machen Morgentoilette.

Zahnbürste, Zahnbecher, Rasiergerät, Cremetuben - weiß, braun, gelb, grün, rot. Haben Sie schon einmal darüber nachgedacht, woraus diese Artikel hergestellt sind? Aus Holz, Metall, Glas oder...? Gewiß, Sie sind in Eile, also Schwamm darüber! Apropos - Schwamm! Woraus besteht denn Ihr Badeschwamm?

Beim Frühstück begegnen wir Ihnen wieder in Form eines roten oder grünen Brötchenkorbes, als Eierbecher, in Gestalt eines Salzstreuers oder einer glasklaren Zuckerdose. Was fällt Ihnen an uns auf? Wir kleiden uns in den fröhlichsten Farben, sind manchmal durchsichtig, haben geringes Gewicht und rosten nicht. Man kann uns getrost hinfallen lassen: Wir halten schon etwas aus. Niemals aber werden wir jemanden schneiden, selbst dann nicht, wenn man uns mit Gewalt zerbricht. Diese Sanftmut schätzt jede Hausfrau.

Doch Ihre Zeit drängt, die Arbeit ruft. Schnell noch einen Schluck Tee, und dann ab zur Straßenbahn! Fahren Sie mit dem Bus oder mit dem Zug? Wie auch immer. Sie werden um diese Zeit kaum einen Sitzplatz bekommen. Aber wenn Sie doch einen erwischen, dann lohnt es sich. Schön bequem sitzt man nämlich auf den neuen gepolsterten "Leder"-Sitzen, nur noch selten muß man sich mit harten Holzbänken begnügen. Den etwas aufdringlichen Geruch dieses "Leders" nimmt man gern in Kauf. Mittlerweile weiß man ja, daß er nach einiger Zeit verschwindet.

Vielleicht haben Sie jetzt etwas mehr Zeit für mich. Ein Griff nach der Zigarettenspitze, zum Feuerzeug - knips! Schon haben Sie am frühen Morgen Ärger. "Mann, können Sie nicht lesen, hier ist Nichtraucher!" "Ach so, Verzeihung..." In Ihrer Verlegenheit starren Sie auf das Nichtraucherschild und versuchen festzustellen, woraus es wohl hergestellt sein mag. Holz ist es bestimmt nicht. Lackiertes Blech vielleicht?

Da fällt Ihnen ein, wie Ihre Frau immer über das Messing-Türschild schimpft, weil sie es so oft putzen muß. Eigentlich hat es wohl ausgedient.

Nun sind Sie auch bald angelangt. Schnell noch einen Blick in die Zeitung! Was steht hier? Erhöhung des Lebensstandards durch Steigerung der Produktion von polymeren Werkstoffen und Synthesefasern. Dann kommen Worte wie Polyvinylchlorid, Plaste, Dederon, Wolcylon, Polystyrol, Prelana, Kautschuke, Placryl.

Junge, Junge, sind das Ausdrücke! Aber es wird Zeit daß man dahinterkommt, sonst kennt man bald seine Umgebung nicht mehr.

DIE THERMODYNAMISCHE BEHANDLUNG DES
THERMISCHEN GLEICHGEWICHTS. (ZWEITER
HAUPTSATZ DER WÄRMELEHRE.) ¹⁾

a) Allgemeine Grundlagen.

Es wurde gezeigt, daß sich ein thermisches System dann im Gleichgewicht befindet, wenn man durch kleine Änderungen der wirksamen Zustandsvariablen einen merklichen Umsatz, oder allgemeiner gesprochen, eine merkliche Änderung anderer abhängiger Variablen erzielen kann. Als allereinfachstes Beispiel sei ein Gas in einem Zylinder betrachtet, der oben durch einen mit Gewichten beschwerten Kolben verschlossen ist. Das Gleichgewicht besteht in diesem Falle darin, daß der von den Gasmolekeln ausgeübte, nach außen gerichtete thermische Druck und der von der Belastung des Kolbens herrührende äußere Druck einander gleich sind. Es sei nun angenommen, daß der Gegendruck des Kolbens tatsächlich allein von den auf ihm ruhenden Gewichten und nicht von sekundären Einflüssen, Rauheiten an der Kolbenwand oder dgl. abhängt. Dann wird jede Gewichtsänderung des Kolbens, selbst wenn sie relativ geringfügig ist, eine, wenn auch kleine, so doch merkliche Verschiebung, d.h. Volumänderung des Zylinderinhalts nach sich ziehen. Man kann sich nun vorstellen, die Gewichtsänderung würde sehr langsam und durchaus kontinuierlich vorgenommen (was man praktisch durch Zu- oder Abfließenlassen von Quecksilber in ein auf dem Kolben stehendes Gefäß erreichen könnte) - dann wird sich auch das Gasvolumen vollkommen stetig ändern und in jedem

1) A. Eucken, E. Wicke. Grundriss der physikalischen Chemie. Leipzig 1959.

Augenblick genau dem äußeren Druck anpassen. Trotz der dauernden Änderungen wird das System daher stets die Bedingung des thermischen Gleichgewichts praktisch erfüllen, die hier: "äußerer Druck = thermischer Druck" lautet. Wie man leicht erkennt, ist weiterhin für derartige Zustandsänderungen der Umstand charakteristisch, daß man die Richtung der Zustandsänderung in jedem Augenblick durch Vermehrung oder Fortnahme eines sehr kleinen Gewichtes (allgemeiner: durch eine sehr kleine Änderung einer der unabhängigen Zustandsvariablen) in jedem Punkte zur Umkehr bringen kann, und daß man zur Wiederherstellung irgendeines Anfangszustandes (auch bei endlichen Änderungen) genau dieselben Änderungen der unabhängigen Zustandsvariablen in umgekehrter Reihenfolge und im umgekehrten Sinne vornehmen muß, deren es bedurft hatte, um das System aus dem Anfangszustand zu entfernen. Wir bezeichnen derartige Prozesse als umkehrbar oder reversibel und gewinnen daher nunmehr ein weiteres Kriterium für das thermische Gleichgewicht, das zwar gegenüber bisherigen Feststellungen zunächst nichts prinzipiell Neues bietet, aber eine schärfere Formulierung darstellt: Ein System befindet sich im Zustande thermischen Gleichgewichtes, wenn es bei kleinen äußeren Störungen nur kleine reversible Zustandsänderungen durchläuft.

Obgleich die voranstehende Definition eines reversiblen Prozesses durchaus erschöpfend ist, ist es wohl doch nicht überflüssig, noch einmal zu betonen, daß man in der Wärmelehre unter einem reversiblen Vorgang keinen solchen versteht, der schlechthin umkehrbar ist, in dem Sinne, daß bei ihm der Anfangszustand nach vorangegangenen Änderungen auf irgendeine Weise wiederhergestellt werden kann. Letzteres ist nämlich prinzipiell stets möglich; das, worauf es ankommt, besteht aber darin, daß die Wiedererreichung auf dem gleichen, aber im umgekehrten Sinne durchlaufenen Wege erfolgt, wie bei der Zustands-

änderung, bei der das System zunächst aus seinem Anfangszustand entfernt wurde. Wir wählen als Beispiel wieder die Expansion eines Gases. Lassen wir ein solches zunächst in ein Vakuum expandieren, so geschieht dies offenbar ohne Arbeitsleistung; wenn nun aber das Gas in seinen Anfangszustand zurückgebracht (komprimiert) werden soll, so sehen wir, daß hierzu ein Arbeitsaufwand erforderlich ist) daß also eine Rückverwandlung auf dem gleichen Wege wie bei der Expansion tatsächlich nicht durchführbar ist. Ganz allgemein bezeichnet man Prozesse, bei denen das System nicht ohne weiteres, d.h. auf dem gleichen Wege (ohne äußere Energiezufuhr) wieder in den Anfangszustand zurückgebracht werden kann, als nichtumkehrbar oder irreversibel. Charakteristisch für derartige Prozesse ist ferner der Umstand, daß sie spontan in einer ganz bestimmten Richtung verlaufen, während bei einer reversiblen Umwandlung von der Bevorzugung einer bestimmten Richtung offenbar nicht die Rede sein kann.

Die irreversiblen Prozesse sind in der Natur sehr häufig, erheblich häufiger sogar, als die (einem idealisierten Grenzfall entsprechenden) reversiblen. Beispiele für irreversible Vorgänge, bei denen man sich leicht davon überzeugen kann, daß ihnen die geschilderten Kennzeichen tatsächlich zukommen, bieten außer der Expansion eines Gases in ein Vakuum:

der Wärmeübergang von einem heißeren zu einem kälteren Körper;

der Reibungsvorgang (Entstehung von Wärme durch Aufwendung äußerer Arbeit);

die Diffusion von Gasen und Flüssigkeiten;

der Verlauf chemischer Reaktionen (z.B. Verbrennungen und Explosionen).

Das Prinzip von der Unmöglichkeit des Perpetuum mobile zweiter Art. So wichtig die voranstehenden Feststellungen für die exakte Formulierung der Bedingungen des thermischen Gleichgewichtes auch sind, so sind wir durch sie allein doch noch nicht an das Ziel gelangt, da es bisher nicht möglich ist, ohne weiteres festzustellen, welche Werte die Zustandsvariablen nun tatsächlich annehmen müssen, damit sich ein System im Zustande einer reversiblen Umwandlung befindet. Vielmehr ist es, um ein greifbares Ergebnis zu erhalten, noch erforderlich, einen weiteren sehr allgemeinen, auf breitester Erfahrung beruhenden Satz heranzuziehen, der sich speziell mit der Verwandlungsmöglichkeit von Wärme in Arbeit befaßt.

Bekanntlich kann man stets mechanische Energie restlos in Wärme verwandeln, ohne auf irgendwelche Hemmungen zu stoßen. Dabei brauchen in dem Versuchssystem (etwa zwei aufeinander reibenden Flächen) keinerlei Veränderungen zurückzubleiben, wenn man dafür Sorge trägt, daß die entwickelte Wärme nach außen abgeleitet wird. Man kann daher selbst mit einer relativ einfachen Vorrichtung im Laufe der Zeit eine beliebig große Menge mechanischer Energie in Wärme verwandeln. In umgekehrter Richtung gelingt indessen überhaupt keine Verwandlung, wenigstens wenn man streng an der Bedingung festhält, daß an den beteiligten Stoffen auf die Dauer keine Veränderungen vor sich gehen dürfen.¹⁾ Um die Richtigkeit dieser Aussage zu erkennen, stelle man sich einen Augenblick vor, in welcher Weise sich eine derartige Verwandlung abspielen müßte. Die auftretende mechanische Energie müßte in Gestalt von Wärme dem Versuchssystem entzogen werden, das sich somit - und zwar ohne

- 1) Beispielsweise kann man durch eine einmalige thermische Expansion eines Gases zwar Wärme in Arbeit verwandeln, aber es gelingt nicht, das Gas wieder in seinen Anfangszustand zurückzubringen, es sei denn, daß man die gewonnene Arbeit dem Gas wieder zuführt.

sonstige Änderungen (z.B. eine Volumenvergrößerung) spontan abkühlen müßte. Beispielsweise müßte es denkbar sein, daß ein am Boden liegender Stein veranlaßt werden könnte, von selbst (unter Abkühlung) emporzuschnellen. Eine auf breitester Grundlage beruhende Erfahrung lehrt nun, daß eine derartige, mit einer spontanen Abkühlung, sonst aber keinerlei Effekten verbundene Arbeitsleistung niemals eintritt. Denn wenn man auch nur in einem einzigen Falle hierzu imstande wäre, könnte man (im Prinzip) eine Maschine konstruieren, die beliebig lange Zeit hindurch unter Abkühlung ihrer Umgebung Arbeit lieferte, die z.B. den praktisch unerschöpflichen Wärmevorrat des Weltmeeres allmählich in mechanische Energie verwandeln könnte. Eine derartige ideale Maschine, die zwar dem Energieprinzip nicht widerspricht, aber trotzdem Ähnliches leistet, wie das erwähnte Perpetuum mobile (erster Art), bezeichnet man als ein Perpetuum mobile zweiter Art. Es ist einleuchtend, daß der Betrieb eines Perpetuum mobile zweiter Art an den irgendwie beteiligten Stoffen keine dauernden Veränderungen hervorrufen darf, da sich diese sonst im Laufe der Zeit immer mehr steigern und schließlich irgendwie wie einen Stillstand der Maschine bewirken würden. Ebenso wenig wie die Verwirklichung eines Perpetuum mobile erster Art ist bisher die eines Perpetuum mobile zweiter Art jemals gelungen, so daß man berechtigt ist, auch dieses Perpetuum mobile als etwas prinzipiell Unmögliches zu bezeichnen. Diese Unmöglichkeit eines Perpetuum mobile zweiter Art wird im folgenden (ebenso wie in der Mehrzahl der sonstigen neueren Darstellungen) als die eigentliche empirische Grundlage des für die thermodynamische Behandlung thermischer Gleichgewichte zu verwendenden Grund -

satzes, des sog. zweiten Hauptsatzes der Wärmelehre betrachtet werden.¹⁾

Die maximale Arbeit bei isothermen reversiblen Prozessen. Zu einer überaus wichtigen Folgerung aus dem Satz von der Unmöglichkeit des Perpetuum mobile zweiter Art, die in vielen Fällen sogar unmittelbar zu den konkreten Gleichgewichtsbedingungen thermischer Systeme führt, gelangt man durch folgende Überlegung:

Man denkt sich ein Versuchssystem isotherm und reversibel auf zwei verschiedenen Wegen von einem Zustand (1) in einen zweiten Zustand (2) verwandelt und ermittelt für beide Wege die dem System dabei zuzuführenden Arbeitsbeiträge. Nehmen wir an, es ergäbe sich für die zugeführte Arbeit auf dem einen Wege der Betrag A_I , auf dem anderen Wege der Betrag A_{II} , so würde ein vollständiger Kreisprozeß, bei dem das System vom Zustand 1 auf dem Wege I zunächst in den Zustand 2 gebracht und dann über den Weg II in den Zustand I zurückgeführt wird, zu einem Arbeitsgewinn $A_{II} - A_I$ führen. Dieser Arbeitsgewinn könnte aber nach dem ersten Hauptsatz nur auf Kosten zugeführter Wärme möglich sein, d.h. es müßte bei konstanter Temperatur, ohne daß eine Änderung der inneren Energie des Systems stattgefunden hat (denn dieses ist ja in den Zustand 1 zurückgekehrt), Wärme in Arbeit verwandelt sein, falls $A_{II} - A_I$. Ist $A_I - A_{II}$, so braucht man den Kreisprozeß nur umzukehren und würde dann auf die gleiche Weise zu einem Arbeitsgewinn auf Kosten verbrauchter Wärme gelangen.

-
- 1) Das Prinzip von der Unmöglichkeit eines Perpetuum mobile zweiter Art benutzte zuerst W. Thomson; diesem Prinzip ist folgender von Clausius als empirische Grundlage des zweiten Hauptsatzes benutzter Satz vollkommen gleichwertig: "Es ist unmöglich, direkt oder indirekt Wärme, von einem kalten zu einem warmen Körper übergehen zu lassen, wenn nicht gleichzeitig Arbeit verbraucht wird oder an den beteiligten Körpern irgendwelche sonstige Veränderungen eintreten."

Auf Grund der Unmöglichkeit des Perpetuum mobile zweiter Art muß jedoch eine derartige Verwandlung von Wärme in Arbeit ausgeschlossen werden; nach dem Vorangehenden ist dies aber nur dadurch möglich, daß

$$\Delta I = \Delta II \quad (260)$$

woraus sich die Forderung ergibt: Der Arbeitsumsatz bei einer isothermen, reversibel geleiteten Zustandsänderung muß vom Wege unabhängig sein. Das gilt sowohl für den oben angenommenen Fall, daß bei der Zustandsänderung von (1) nach (2) Arbeit zugeführt werden muß, als auch für den Fall, daß dabei Arbeit gewonnen wird (z.B. Expansion, ΔI und ΔII negativ).

Bevor wir weitergehen, ist es zunächst von Bedeutung, noch festzustellen, daß im Falle einer Arbeitsleistung seitens des Systems die bei reversibler Führung der Zustandsänderung gewonnene Arbeit ein Maximum der überhaupt möglichen Arbeitsgewinns darstellt.

Dieser Satz ist von vornherein sehr einleuchtend, wenn man bedenkt, daß bei zahlreichen irreversiblen Prozessen, z.B. bei der Expansion eines Gases in ein Vakuum, bei der Wärmeleitung bei Diffusionsvorgängen usw. überhaupt keine Arbeit gewonnen wird. Wenn man daher einen Vorgang vor sich hat, der sowohl reversible als auch irreversible Anteile enthält (Beispiel: Expansion eines Gases in einem Zylinder, bei dessen Kolbenbewegung Reibungskräfte auftreten), so geht dabei ein gewisser Anteil der bei völlig reversiblen Verlauf gewinnbaren Arbeit durch irreversible Wärmeerzeugung verloren, insgesamt wird somit weniger Arbeit gewonnen als bei einem rein reversiblen Prozeß. Um indessen die Möglichkeit, daß ein ganz oder teilweise irreversibler, isotherm geleiteter Prozeß einen größeren Arbeitsbetrag liefert, völlig auszuschließen, argumentiert man wie folgt:

Man stelle sich einen (isothermen) Kreisprozeß vor, dessen erste Stufe reversibel unter dem Arbeitsaufwand

A_r durchlaufen wird, in dessen zweiter Stufe, die zum Ausgangszustand zurückführt, bei ebenfalls reversiblen Ablauf die Arbeit A_r somit gerade zurückgewonnen wurde. Nun werde die zweite Stufe jedoch irreversibel durchgeführt und dabei der Arbeitsgewinn A_{irr} erzielt. Auf Grund der Unmöglichkeit des Perpetuum mobile 2. Art kann dabei A_{irr} keinesfalls größer sein als A_r , jedoch ohne weiteres kleiner. Denn eine Umkehr des Kreisprozesses kommt hier nicht in Frage, da ja die irreversible Zustandsänderung nur in einer Richtung erfolgen kann. Es ergibt sich somit, daß A_r in der Tat den Maximalwert der zu gewinnenden Arbeit darstellt.

Für diese nach dem vorangehenden für jeden isothermen Prozeß charakteristische Größe verwendet man daher in der Regel den Ausdruck: "Maximale Arbeit"; den Inhalt der grundlegenden Gl. (260), d.h. die Aussage, daß von der Art der Durchführung des Prozesses unabhängig ist (solange er nur reversibel geleitet wird), pflegt man als Prinzip der maximalen Arbeit zu bezeichnen.

Allgemeine Verfahren zur Ermittlung konkreter Gleichgewichtsbedingungen auf Grund des zweiten Hauptsatzes.

Wir stehen nunmehr in der Tat vor der Lösung der Aufgabe, die Bedingungen für das thermische Gleichgewicht rechnerisch, d.h. in konkreten Fällen als Funktion der jeweiligen Zustandsvariablen zu ermitteln:

Am weitaus einfachsten liegen die Verhältnisse in solchen Fällen, bei denen man von vornherein die Frage der Temperaturabhängigkeit des Gleichgewichtes ausschalten kann, wenn man sich also auf eine Formulierung der für bestimmte Temperaturen gültigen Gleichgewichtsbedingungen beschränken darf. Dann verwendet man das im vorangehenden Paragraphen geschilderte Prinzip der maximalen Arbeit, d.h. man denkt sich das System aus einem geeignet gewählten Ausgangszustand 1 isotherm und reversibel auf zwei

verschiedenen Wegen in einen Zustand 2 verwandelt und versucht nun, die Arbeitsbeträge A_I und A_{II} als eine Funktion der in Frage kommenden Zustandsvariablen (z.B. mittels $dA = -p dv$) zu berechnen. Die Ergebnisse setzt man zufolge der Gl. (260) einander gleich ($A_I = A_{II} = A_R$) und erhält daraus bei zweckmäßiger Wahl der beiden Zustände und der Umwandlungswege unmittelbar die gewünschten Gleichgewichtsbedingungen (vgl. die Beispiele in den §§ 129 bis 133).

Ein etwas längerer Weg muß zurückgelegt werden, wenn man zu den (besonders wichtigen) Bedingungen für die Temperaturabhängigkeit thermischer Gleichgewichte gelangen will, die übrigens in der Regel die für konstante Temperatur geltenden Beziehungen in sich einschließen. Zu der allgemeinen Grundformel, aus der sich dann alles Weitere ergibt, gelangt man, wenn man eine gewisse Wärmemenge aus einem großen Wärmebehälter von der Temperatur $T + dT$ in einen solchen von der Temperatur T reversibel übergehen läßt. Bereits früher wurde ein derartiger Wärmeübergang eingehend behandelt; bemerkenswert war hierbei, daß man die Wärme nicht unmittelbar von der höheren zu der tieferen Temperatur übertreten ließ, sondern daß ein ideales Gas als "Überträger" eingeschaltet wurde, welches die Wärme bei der höheren Temperatur in sich aufnahm und - bis auf einen differentialen Anteil - bei der tieferen Temperatur wieder abgab. Ohne daß es irgendwelcher zusätzlicher Annahme oder Voraussetzungen bedurfte, ergab sich die Gleichung ((104) S. 112), wonach bei dem betrachteten Kreisprozeß ein differentialer Anteil der übergehenden Wärme in Arbeit verwandelt wird. Wir wollen dieser Beziehung jetzt die Form:

$$-dA_R = \frac{Q_R dT}{T}$$

dA_r = differentiale reversible Arbeit bei
einem Kreisprozeß

geben, indem wir $T + dT$ durch T und $Q_T + dT$ durch Q_r ersetzen. Dabei soll der Index r von jetzt ab stets auf den reversiblen Charakter des Prozesses hinweisen und das Symbol dA_r zum Ausdruck bringen, daß die betr. Arbeit bei einem Kreisprozeß auftritt.

Man stellt nun folgendes Gedankenexperiment an: Mittels des idealen Gases als Überträger wird die Wärmemenge Q_T von dem wärmeren zum kälteren Behälter befördert und dabei die Arbeit $-dA_{rI}$ gewonnen, dagegen wird mittels eines beliebigen anderen Überträgers, von dem lediglich verlangt wird, daß er gleichfalls reversibel arbeitet, die gleiche Wärmemenge von dem kälteren zu dem wärmeren Behälter zurückbefördert; hierzu wird ein gewisser Arbeitsaufwand erforderlich sein, der mit dA_{rII} bezeichnet wird. Nun befindet sich das ganze System, die Wärmebehälter sowohl wie die Überträger, nach Beendigung des Prozesses wieder in seinem Anfangszustand; aus der inneren Energie kann daher der Betrag dieses Arbeitsgewinnes nicht stammen, aber auch dem Wärmeverrat der beiden Behälter kann er nicht entnommen sein, da sich dann - im Widerspruch zu der Unmöglichkeit des Perpetuum mobile zweiter Art - ohne sonstige Veränderungen des Systems Wärme in Arbeit verwandelt haben müßte.

Man schließt daher, ähnlich wie oben:

$$-dA_{rI} - dA_{rII} = 0 \text{ oder: } -dA_{rI} = dA_{rII}$$

Dies führt nun unmittelbar zu dem weittragenden Ergebnis:

$$-dA_{rI} = dA_{rII} = -dA_r \text{ allgemein} = -\frac{Q_T dT}{T}$$

d.h. die zunächst unter Verwendung eines idealen Gases als Überträger abgeleitete Formel ist in Wirklichkeit von der Natur des Übertragers (solange er bei den für die Energiebilanz ins Gewicht fallenden Stufen reversibel arbeitet) unabhängig, ist also allgemeingültig.

Obgleich die voranstehende (im wesentlichen von Clausius herrührende) Ableitung der grundlegenden Formel (261) bzw. (261a) prinzipiell einwandfrei ist, wird sie aus folgendem Grunde doch nicht von jedem Leser als voll befriedigend empfunden werden: Gl. (261) gilt zunächst (ohne zweiten Hauptsatz) nur für den Fall, daß man ein ideales Gas als Überträger verwendet, wird aber dann durch Verwendung des Prinzips von der Unmöglichkeit des Perpetuum mobile zweiter Art auf beliebige Stoffe ausgedehnt; auf diese Weise gelangt die Temperatur T , die ja zunächst nur durch das Gasthermometer definiert ist, also eine mit idealen Gaszustand eng verknüpfte Größe darstellt, in ein für beliebige Stoffe gültiges Naturgesetz, was für ein tieferes, über das Formale hinausgehendes Verständnis desselben naturgemäß Schwierigkeiten bereitet.

Um diesen Mangel zu beseitigen, bedarf es eines anderen Ausgangspunktes für die Definition der Temperatur. Diese wird nunmehr nicht durch das Verhalten eines idealen Gases, sondern in der Weise festgelegt, daß man für die bei einem differentialen reversiblen Wärmeübergang zu gewinnende Arbeit zunächst ganz allgemein setzt:

$$- dA_r = \frac{Q_r dT}{T}$$

In dieser auf Grund der Unmöglichkeit des Perpetuum mobile zweiter Art für jeden Überträger geltenden Gleichung wird nun von vornherein die unbekannte Temperaturfunktion (T) der Temperatur T definitionsgemäß gleichgesetzt und damit eine absolute, d.h. von einer speziellen

Bezugssubstanz in der Tat unabhängige Temperaturskala gewonnen (W. Thomson 1852); es bereitet dann keine Schwierigkeit, nachträglich zu zeigen, daß diese absolute ("Kelvin") Temperatur mit der Temperatur des idealen Gasthermometers übereinstimmt.

Gleichung (261) stellt einen wesentlichen Teil des sog. zweiten Hauptsatzes der Wärmelehre dar, mit welchem man für eine mehr elementare Darstellung der physikalisch-chemischen Gleichgewichtszustände, wie im folgenden an einer Reihe konkreter Beispiele gezeigt werden wird, tatsächlich auskommt.

Grundsätzlich gestaltet sich hierbei die Anwendung der Gl. (261) wie folgt: Man faßt das stoffliche System, für welches man die Gleichgewichtsbedingungen ermitteln will (eine verdampfende Flüssigkeit, ein Reaktionsgemisch oder dgl.) als Überträger der Wärme Q_T auf. Dann läßt sich Q_T stets durch eine für dieses System charakteristische kalorische Größe (Verdampfungsenthalpie, Reaktionsenthalpie usw.) ausdrücken. In analoger Weise gelingt es, die Arbeit dA_r durch thermische Zustandsgrößen des betr. Systems darzustellen.

Da nun diese thermischen Zustandsgrößen (z.B. der Dampfdruck) für das betreffende thermische Gleichgewicht kennzeichnend sind, gelangt man für dieses, wie oben behauptet, in der Tat zu konkreten Angaben. Freilich wird sich hierbei ergeben, daß in den Gleichungen nicht die Absolutwerte der betr. Gleichgewichtsparameter, sondern nur deren Differentialquotienten nach der Temperatur auftreten. Die auf (261) beruhenden Gleichungen des 2. Hauptsatzes führen lediglich zu Aussagen über die Temperaturabhängigkeit thermischer Gleichgewichte, lassen aber die Frage nach den Absolutwerten der jeweiligen Gleichgewichtsparameter unbeantwortet. Die Ausfüllung dieser empfindlichen Lücke ist erst in neuerer Zeit gelungen.

Zunächst wurde der Versuch gemacht, die Formel des 2. Hauptsatzes durch eine thermodynamische Zusatznahme zu ergänzen, wodurch aber das Problem nicht ganz allgemein gelöst wird. Den endgültigen Erfolg brachte erst eine Berechnung, die auf einem völlig anderen Wege durch molekularstatistische Betrachtungen ohne eine unmittelbare Verwendung des 2. H. S. vorgenommen wurde.

Charakteristische Funktionen des zweiten Hauptsatzes. Bei der Besprechung des ersten Hauptsatzes lernten wir als charakteristische Funktion desselben die innere Energie kennen, an deren Stelle auch die Enthalpie h treten kann. Daher liegt nun die Frage nahe, ob auch für den 2. Hauptsatz derartige charakteristische Funktionen existieren, durch die sich gegebenenfalls eine analoge Formulierung wie beim ersten Hauptsatz erzielen läßt, indem verlangt wird, daß die betr. Funktionen nur von dem jeweiligen Zustand des betrachteten Systems abhängen sollen, nicht aber von dem Wege, auf dem die Umwandlung eines Zustandes in einen anderen vorgenommen wird. In der maximalen Arbeit A_r trat uns zwar bereits eine derartige Funktion entgegen, doch beschränkt sich hier die Unabhängigkeit vom Wege der Umwandlung auf isotherme Vorgänge, so daß durch sie das erstrebte Ziel nur unvollständig erreicht wird. Eine Funktion, welche der gestellten Forderung in vollem Umfange entspricht, ist die bereits von Clausius benutzte Entropie. Unter Hinweis auf ausführlichere Darstellungen ¹⁾ verzichten wir hier auf die Wiedergabe der klassischen von Clausius herrührenden Gedankengänge und begnügen uns mit einer Angabe der wichtigsten Ansätze und Ergebnisse.

1) Z. B. L II § 11.

Die Entropie s wird definiert durch das Differential

$$ds = \frac{dQ_T}{T}, \text{ wofür auch } ds = \frac{d - dA_T}{T} \quad (262)$$

oder

$$ds = \frac{dh - d(pv) - dA_T}{T} = \frac{dh - vdp - dA'_T}{T} \quad (262a)$$

geschrieben werden kann, wenn man die gesamte reversible Arbeit dA_T in eine Volumenarbeit ($-pdv$) und irgendwelche "sonstigen" Arbeitsbeträge dA'_T zerlegt. Dieses Differential ds stellt nun, im Gegensatz zu dQ_T und dA_T , tatsächlich ein vollständiges Differential dar, m.a. W. die Entropie ist, ebenso wie die innere Energie und Enthalpie, eine eindeutige Funktion des jeweiligen Zustandes des gerade betrachteten Systems.

Die explizite Einführung der thermischen Zustandsvariablen in die Ausdrücke (262) bzw. (262a) bereitet im allgemeinen keine Schwierigkeit. Beispielsweise erhält man für ein ideales Gas, bei welchem

$$\frac{h}{v} \quad \text{und} \quad \frac{h}{p}$$

verschwindend klein sind und keine "sonstigen" Arbeitsbeträge in Frage kommen, pro Mol:

$$ds = \frac{C_V dT + pdV}{T} = C_V d\ln T + R d\ln V \quad (263)$$

oder

$$ds = \frac{C_P dT - Vdp}{T} = C_P d\ln T - R d\ln p, \quad (263a)$$

je nachdem man S als Funktion von V oder p darzustellen wünscht. Beschränkt man sich auf letzteren Fall, so hat

man für Gase zu setzen

$$C_p = C_{p0} + C_3$$

und erhält dann durch Integration

$$\begin{aligned} S(T) &= C_{p0} \ln T + \int_0^T \frac{C_3}{T} dT - R \ln p + S_{p=1}^0 = \\ &= S_1(T) - R \ln p \end{aligned} \quad (264)$$

während man für kondensierte Zustände, bei denen man in (263a) das Glied $V dp$ wegen seiner Kleinheit vernachlässigen kann,

$$S(T) = \int_0^T \frac{C_{p \text{ kond.}}}{T} dT + S_{\text{kond.}}^0 = S_1(T) \quad (265)$$

erhält. Allerdings muß betont werden, daß eine derartige Fixierung von "Absolutwerten" der Einzelentropien keineswegs durch eine einfache Normierung erfolgen kann, wie dies bei Einzelenergien und Einzelenthalpien möglich ist, daß man vielmehr zu rationellen Werten für die Entropiekonstanten $S_p^0 = 1$ bzw. $S_{\text{kond.}}^0$, auf die es hier ankommt, erst durch besondere Betrachtungen gelangt, auf die erst an späterer Stelle näher eingegangen werden kann. Setzt man in den Gleichungen (264) und (265) entsprechend den Festsetzungen auf S. 142 $T = 298$ und $p = 1$, so gelangt man zu der sog. Normalentropie S^n , für welche somit gilt:

Bei Gasen:

$$S^n = C_{p0} \ln 298 + \int_0^{298} \frac{C_3}{T} dT + S_{p=1}^0, \quad (264a)$$

bei kondensierten Zuständen:

$$S^n = \int_0^{298} \frac{C_{p \text{ kond.}}}{T} dT + S_{\text{kond.}}^0. \quad (265a)$$

Numerische Werte dieser Normalentropien können gegenwärtig tabellarischen Zusammenstellungen entnommen werden.

Für reversible Zustandsänderungen innerhalb eines abgeschlossenen Gesamtsystems, das sich aus einer Anzahl von 1, 2, i Teilsystemen zusammensetzt, gilt:

$$ds_i = 0. \quad (266)$$

Aus dieser Beziehung ergibt sich unmittelbar eine allgemeine Bedingung für das thermische Gleichgewicht innerhalb eines bestimmten Teilsystems, indem man für dessen Entropieänderung $ds_{\text{Syst.}}$ setzt und außerdem nur noch die Entropieänderung der "Umgebung" dieses Systems (etwa eines großen Kalorimeters) berücksichtigt; man erhält dann zufolge (262) wegen der Reversibilität der Umwandlung:

$$ds_{\text{Syst.}} = - ds_{\text{Umgeb.}} = - \frac{dQ}{T} \quad (\text{Umgeb.})$$

Da aber die der "Umgebung" zugeführte Wärme der Enthalpieabnahme $- dh$ des Systems entspricht (wenn man bei konstantem Druck arbeitet), gilt weiterhin:

$$ds - \frac{dh}{T} = 0, \quad (267)$$

wobei nunmehr der Index "Syst" beseite gelassen ist.

Falls die ins Auge gefaßte Umwandlung sich bei konstanter Temperatur vollzieht, steht nichts im Wege, mit einer endlichen Entropie - bzw. Enthalpieänderung zu rechnen; man erhält dann als allgemeine Gleichgewichtsbedingung die Beziehung:

$$s - \frac{h}{T} = 0. \quad (267a)$$

Eine charakteristische Eigenschaft der Entropie besteht darin, daß sie bei irreversiblen Prozessen stets zunimmt. Bei denjenigen der aufgezählten irreversiblen

Prozesse, bei denen Arbeit verzehrt und Wärme erzeugt wird, ist die Richtigkeit dieses Satzes unmittelbar einleuchtend; zu seinem Beweise für die übrigen Fälle stellt man sich vor, das innerhalb eines großen Kalorimeters befindliche System verwandle sich aus einem Zustand 1 zunächst irreversibel und adiabatisch in einen Zustand 2, wobei die Entropieänderung s_{irr} betragen möge. Auf reversiblen Wege wird das System nun in den Anfangszustand 1 zurückgebracht, was aber einen Arbeitsaufwand erfordert. Diese Arbeit kann nicht in innere Energie verwandelt worden sein, da diese die gleiche sein muß wie am Anfang, sondern muß in Gestalt von Wärme ($Q_{Kal.}$) an das umgebende Kalorimeter abgegeben worden sein. Die Entropie des Gesamtsystems hat also tatsächlich um den Betrag $\frac{Q_{Kal.}}{T}$ zugenommen. Diese Zunahme kann aber nur von dem ersten irreversiblen Schritt herrühren, da die reversible Rückverwandlung mit keiner Entropieänderung des Gesamtsystems verbunden ist.

Bei zusammengesetzten Systemen verhalten sich die Entropien additiv, falls die einzelnen Stoffe rein in getrennten Phasen auftreten. Auch in verdünnten Gemischungen bleibt die Additivität erhalten, vorausgesetzt, daß bei der Vermischung keine Änderung der einzelnen Partialdrucke eintritt. Man übersieht nun unmittelbar, daß man dann für die Entropiezunahme bei chemischen Reaktionen analog wie bei der Energie- und Enthalpiezunahme

$$s = R^S$$

zu setzen g hat, wodurch aus (267a) als charakteristische Gleichung für das chemische Gleichgewicht:

$$R^S - \frac{R^H}{T} = 0 \quad (267 \text{ b})$$

oder unter Berücksichtigung von (264)

$$R \ln p_{gl.} = - \frac{R^H}{T} + R S_1(T)_p = 1 \quad (267c)$$

folgt, wenn $P_{gl.}$ die Gleichgewichtspartialdrucke der nur als Gase vorhandenen Komponenten bedeuten.

Eine fast noch größere Bedeutung als der Entropie kommt zwei aus dieser und der inneren Energie bzw. der Enthalpie zusammengesetzten Funktionen zu, der freien Energie:

$$f = u - T s \quad (268)$$

und der freien Enthalpie:

$$g = f + p v = g - T s. \quad (268a)$$

Da u , h und s eindeutige Zustandsfunktionen sind, gilt das gleiche für f und g . Durch Verwendung der freien Enthalpie läßt sich die allgemeine Bedingung für das thermische Gleichgewicht besonders einfach formulieren, indem hier

$$dg = 0 \quad (269)$$

zu setzen ist, vorausgesetzt, daß die dem Gleichgewicht entsprechende reversible differentiale Umwandlung isotherm verläuft und daß das System bei dieser lediglich eine Volumenarbeit gegen einen konstant gehaltenen Druck leistet. Man überzeugt sich leicht davon, daß Gl. (260) dann mit der Aussage der Gl. (267) übereinstimmt, da das Glied sdT wegen der Temperaturkonstanz verschwindet.

Zweifelloos bietet die unmittelbare Verwendung der voranstehend kurz besprochenen thermodynamischen Funktionen für eine Berechnung konkreter thermischer Gleichgewichte große Vorteile; da aber das Arbeiten mit diesen Funktionen, namentlich für den Anfänger, die Gefahr mit sich bringt, sich ins rein Formale zu verlieren, ziehen wir es vor, entweder auf das sehr anschauliche Prinzip der maximalen Arbeit zurückzugreifen oder unmittelbar an die einfache Clausiussche Grundformel (261) anzuknüpfen. Dabei ist übrigens noch zu berücksichtigen, daß die freie

Energie bei den für Gleichgewichtsberechnungen durchaus im Vordergrund stehenden isothermen Änderungen wieder zu der maximalen Arbeit zurückführt, da sich dann aus Gl. (268)

$$\begin{aligned} f - u - T \quad s - \quad u - \quad Q_T - \quad A_T \\ u - \quad Q_T - \quad A_T \end{aligned}$$

ergibt.

ab/bauen	lammutama, lõhkuma; kasutama, eksploateerima; kaevandama; koost lahti võtma (masinat); koondama (koosseisusid)
Abbaureaktion f; -, -en	lagunemisreaktsioon
ab/dunsten	aurama; auruma; aurustama; aurustuma
ab/erkennen (erkannte ab od. aberkannte, aberkannt)	vastu vaidlema; kõrvale heit- ma, tagasi lükkama; ilma jät- ma
Abfälle pl	jätmed
Abfallprodukt n; -(e)s, -e	kõrvalprodukt, kõrvalsaadus, kõrvaltoode; pl jätted, jätmed
ab/finden, sich (a,u)	rabule jääma, nõustuma
ab/füllen	(ühest anumast teise) ümber kallama v. valama; tühjenda- ma; täitma, villima
Abgas n; -es, -e	kõrvalgaas; suitsugaas; pl gaasilised jätmed
abgeschlossen	eraldatud, suletud, isolee- ritud; lõpetatud; ühtlane, ühtne
abgestumpfte Ecken	ümardatud nurgad, tõmpnur- gad
Abhandlung f; -, -en	arutlus, käsitelu; kirjutis; artikkel; traktaat; ette- kanne
ab/kühlen, sich	jahtuma
Ablauf m; -(e)s, -e	käik, kulg; (tammi)vee läbi- laskeseadis; fraktsioon; destillaat; äravool; juga; purskkaev, fontaan; uue lae- va vettelaskmine; laeva ära- sõit
ab/leiten	tuletama, järeldama; kõrvale juhtima
ab/leiten, sich	moodustuma, tekkima; tulene- ma
ab/lehnen	tagasi lükkama v. tõrjuma; keelduma

X Abnahme f; -, -n	X vähendamine; vastuvõtmine; kahanemine, vähenemine, ala- nemine, nõrgenemine; (kauba) minek
Abramsalze pl	kaalisoolad kivisoola kihi all
X Absatz m; -es, "e	X lõik, järk; sade, sete; (trepi) platvorm, podest; konts, apsat; taandrida, lõik; peatas, paus; turustus, (kauba) minek
Absäuern n; -s ab/schäumen	eeltöötlemine hapete abil vahtu pealt ära võtma, riisu- ma; im Text: välja kuramaa, välja riisuma
X ab/scheiden (ie, ie) X ab/scheiden, sich (ie, ie) X Abscheidung f; -, -en	X eraldama, lahutama eraldama; settima; sadeastuma eraldumine; settimine; sades- tumine
X ab/schirmen	X eraldama, lahutama; ekraan- rima, varjestama
X ab/setzen, sich X ab/spalten	X settima; sadeastuma; eraldama X loovutama (elektrone); eral- dama (ainet)
ab/sperrern	eraldama, isoleerima; sulge- ma
X ab/spielen, sich	X toimuma, aset leidma, kulge- ma, arenema
X ab/sprengen Abstand m; -(e)s, "e ab/stellen	X lõhkama; purustama vahemaa, vahe X ära panema; (kuhugi) hoiule panema; tegevust katkestama; välja lülitama; peatama
ab/stoßen (ie, o) ab/suchen abtreiben n; -s	ära v. eemale tõukama durch'suchen, durchsuchen äraajamine; destillatsioon; surustamine; (metalli) vää- ristamine, puhastamine
X ab/trennen	X eraldama
X Abwasser n; -s, "e Abweichung f; -, -en	X heitvesi kõrvalekaldumine; erand

X ab/weisen (ie, ie)

ab/wickeln

Abzug m; -(e)s, -

unter den Abzug stellen

Abzweigung f; -, -en

X achten (auf etwas)

addi'tiv

Ader f; -, -n

X adia'batisch

X ähneln, sich

X A'laun m; -s, -e

X 'Alkali n od. Al'kali m;
-s, ...lien (...li n)

X al'kalisch

X Altertum n; -s

X allgemeingültig

Allgemeinheit f; -

X Angreifbarkeit f; -

Ama'ranth(us) m; -

Amboß m; ... osse, ...osse

Ampere'meter n; -, -

Anbau m; -s, -ten

der plantagenmäßige
Anbau

aneinander/haften

X Anerkennung f; -, -en

X keelduma, eitavat vastust
andma; tagasi v. minema saat-
ma; tagasi lükkama, hülgama;
tagasi lööma, tagasi tõrjuma
(runnakut)

ära v. lahti kerima, maha
kerima

(ära) tõmbus; ventilatsiooni-
kanal

tõmbekappi asetama

juhtmete v. torustiku bargne-
mis- (ühinemis-)koht

X tähele panema, silmas pidama;
hoolitsema

aditiivne, lisa-, täiend-
soon

X adiabaatiline

sarnanema

X maarjas, maarjajää

X leelis

X leeliseline

X vanaaeg, antiikaeg

X üldkehtiv

universaalsus, üldisus

X ebapüsivus, ebastabiilsus;
vastuvõtlikkus korrosiooni
mõjule; söövitatavus; porsu-
vus

rebashein

alasi

ampermeeter

juurdeehitus; tiibhoone;
harimine, kasvatamine

istandustes kasvatamine

üksteise külge kinnituma;
liituma

X tunnustamine, tunnustus

✓ an/fallen (ie, a) Anfechtung f; -, -en an/fertigen	✓ ründama; esaks langema vastuvaidlus, vastuväide valmistama; kirjutama; koos- tama
✓ an/führen	✓ juhtima; esitama (näiteid, põhjusi, tõendeid, järeldusi); tsiteerima; viitama
✓ Angabe f; -, -n	✓ tunnistus, ütlus; näitamine, osutamine
✓ Angaben pl	✓ andmed
✓ an/geben (a, e)	✓ (põhjusi, näiteid) (ette) tooma, esitama
✓ angeblich	✓ oletatav, arvatav
✓ angesichts	✓ silmas pidades, arvestades
✓ angewiesen (auf etwas)	✓ (millestki) sõltuv, (millegi) kooleks jäetud
✓ an/greifen (i, i)	✓ ründama; söövitama; keemilist toimet avaldama, keemiliselt mõjutama <i>reageerima</i>
wird von den Säuren nicht angegriffen	ei reageeri hapetega, happe- kindel
✓ Angriff m; -(e)s, -e	✓ söövitamine; korrosioon; rünnak; toime
an/haften	küljes olema; külge kleepuma; omane olema
Anhänger m; -s, -	pooldaja
an/heimeln	koosusena tundma
an/knüpfen	külge siduma; in Text: jätkama
an etwas anknüpfen	(millestki) lähtuma
Anknüpfungspunkt m; -(e)s, -e	kokkupuutepunkt; kontakt
als Anknüpfungspunkt	ühise punktina
✓ an/kommen	✓ on oluline
es kommt (auf etwas) an	✓ kogunema; kihistuma; sades- tuma, settima; kasvama (kris- tallide kohta)
✓ an/lagern	✓ ühinemine; liitumine; sades- tumine, settimine; kihistu- mine, ladestumine
✓ Anlagerung f; -, -en	

an/langen

an/laufen (ie, au) (s)

dunkel anlaufen

an/legen

X Anlehnung f; -, -en

an/muten

X Annahme f; -, -n

X an/nehmen (a, o)

ein Gesetz annehmen

eine Farbe annehmen

an/passen, sich

an/regen

X an/reichern

X Ansäuren n; -s

Ansatz m; -es, "e

anschaulich

X an/schließen (o, o)

X anschließend

im Anschluß an jemanden

Ansehen n; -s

X an/setzen

an/sprechen (als etwas)

pärale jõudma, saabuma

hoogu võtma; kohalt liikuma;
kirmega kattuma; tuhmuma,
ähmastuma

tumedaks värvuma

külge panema; asutama, rajama;
randuma; visandama, skitsee-
rima

X toetumine

tunduma

X vastuvõtmine; oletus

vastu võtma; lapsendama;
(tööle) võtma; omandama;
oletama, eeldama, arvama

seadust vastu võtma

värvi omandama

kohanema, kohastuma, kohal-
duma

tõuget andma (millekski v.
millelegi); virgutama

X rikastama

X hapestamine

jätk; lisand; hoovõtt, hoog;
kalduvus, alge; algus; sade,
sadestis; (puhkpilli) suuli-
ne, huulik; (keem.) lähte-
segu; (mat.) ülesande lahen-
damisele asumine

näitlik, kujukas, selge

X ühendama, liitma; kinnitama

X seejärel, pärast

kellegi järel, kellelegi
toetudes

lugupidamine, austus; autori-
teet, mõjuvõim, mõju

X segama; sadestama; sadestuma;
settima; otsa asetama; üle
minema (ühele režiimile tei-
sele); kasvatama (kristalle)

bezeichnen (als etwas)

X Anspruch m; -(e)s, -e Dienste in Anspruch nehmen	X nõudlus, pretensioon teeneid kasutama
X an/steigen (ie, ie) (s) Anstreichfarbe f; -, -n	X tõusma maalrivärv
X Anteil m; -(e)s, -e	X osa; komponent
X Anwesenheit f; - bei Anwesenheit von ...	X juuresolek manulusel
X an/ziehen (o, o) an/ziehen, sich (o, o) an/zeigen apropos (... 'po:)	selga tõmbama, panema; külge v. kokku v. kaasa tõmbama; alla v. külge v. kinni kruvima (vastastikku) (külge) tõmbuma teada andma, teatama; kuuluta- ma; näitama; ennustama muide
X Arbeit f; -, -en Arbeit leisten Arbeitsaufwand m; -(e)s Arbeitsgewinn m; -(e)s, -e Arbeitsleistung f; -, -en	X töö tööd tegema, töötama töökulu, kulutatud töö; töö- mahukus töö resultaat; tehtud töö tootlikkus, produktiivsus; jõudlus; võimsus; tööviljakus, töötootlikkus; töö, töötoodang
X Ärger m; -s, - Ar'senigsäure f od. arsenige Säure f; -, -n Ar'senkies m; -es Art f; -, -en	X pahameel; tusk; pahandus arseenihape lõllingiit (mineraal) viis; liik; sort
X aschenartig X Atmung f; - A'tomkraftwerk n; -(e)s, -e A'tomzertrümmerung f; -	X tuhataoline X hingamine aatomielektriijaam aatomi lõhustamine; aatomi lõhustumine
atü = at Ü = Atmo'sphären-Überdruck X Ätzalkali n; -s, -ien X Ätzkalk m; -es	rõhu mõõtühik sööbeleelis kustutamata lubi

X Ätznatron n; -s	X naatriumhüdroksiid, sööbe- leelis, seebikivi
X Aufbau m; -(e)s, -ten	X ülesehitamine; ehitamine; struktuur; konstruksioon, osade kokkumonteerimine; sün- tees
X auf/bauen	X üles ehitama; püstitama, ehi- tama; konstrueerima; peale ehitama, kõrgemaks ehitama
die sie aufbauenden Elemente	X neid moodustavad elemendid
X auf/bewahren	X säilitama, alal hoidma
X Aufbewahrung f; -, -en	X säilitamine, alalhoidmine
auf/blähen	paisuma, üles kerkima
auf/brechen (a, a) (s)	teele asuma
auf/decken	nähtavale tooma, paljastama
aufdringlich	pealetükkiv, tüütav
X aufeinander/treffen (a, s) (s)	X üksteise vastu põrkama, kokku põrkama
Aufenthalt m; -(e)s, -e	viibimine, peatus
auf/fädeln	lükkiama
auf/fangen (i, a)	kinni püüdma, (lennult) püüd- ma, tabama; koguma, korjama
Auffangflasche f; -, -n	vastuvõtja; püüdel
Auffangschale f; -, -n	püüdel
X auf/fassen	X aru saama, taipama, mõistma; tõlgendama, tõlgitsema
X Auffassung f; -, -en	X käsitlus, arusaamine; arvamus, seisukoht
auf/führen	ehitama, püstitama; etendama; (näiteid) tooma, esitama
X aufgeschlossen	X vastuvõtlik; arukas, nupukas
auf/glimmen (s)	hõõguma hakkama; (järsku) süttima, lõõmatama
X auf/glühen (s)	X hõõguma hakkama; lõkkele lõõma, leegitsema hakkama
X auf/greifen (i, i)	X kinni püüdma, tabama; jätkama
auf/heben (o, o)	üles tõstma; lõpetama, katkes- tama, likvideerima; hävitama

aufgehoben werden	hävima, kaduma
X auf/klären	X selgitama, seletama
Aufkommen n; -s	ilmumine, tekkimine
Aufladung f; -, -en	(elektri) laeng
Auflage f; -, -n	(teose) trükk; tiraas; tugi; kate
auf/lockern	kobestama, suurendama; nõr- gendama; lõdvendama
X auf/lösen	X lahustama; valla päästma, lahti sõnima; pehmenema, peh- kuma (savi kohta); lahendada (võrrandit, küsimust jne.); lagundama
X Aufnahme f; -, -n	X fotografeerimine, pildistami- ne; joonestis; vastuvõtt; (elektronide) omastamine; neelamine; neeldumine; (ener- gia) tarbimine; üleskirjutami- ne, registreerimine
X auf/nehmen (a, o)	X vastu võtma; neelama, imama; (midagi) alustama; fotogra- feerima; (elektrone) omasta- ma
auf/saugen	endasse imama; imama, ab- sorbeerima
auf/schäumen (a)	vahutama hakkama
aufschlußreich	õpetlik
auf/schrauben	peale keerama, kinni kruvima
Aufschwung m; -(e)s, "e	õitseng, hoogus tõus
einen Aufschwung nehmen	hoogu võtma, õitsele lööma
Aufsicht f; -	järelevalve, kontroll; vaade ülaaltpoolt
ohne Aufsicht	omapead, valveta
auf/stellen	üles seadma; paigutama; koos- tama; välja töötama; (kandi- daati) üles seadma
auf/streben	ülespoole püüdma v. tungima
Auftrag m; -(e)s, "e	ülesanne, tellimus; (värvi) pealekandmine
X auf/treten (a, o)	X esinema
auf/tropfen	peale tilkuma

auf/weichen	leotama
auf/weisen (ie, ie)	näitama, esitama
auf/werfen (a, o)	üles viskama, peale viskama v. loopima; avama (järsu lii- gutusega); kaevama (auku, kraavi)
eine Frage aufwerfen	küsimust algatama v. esitama
auf/wirbeln	üles keerutama; keereldes tõusma
auf/zischen	sisisedes tõusma
X Auge n; -s, -n	X silm
ins Auge fassen	silmas pidama
Ausbeutung f; -	kurnamine, ekspluateerimine; kaevandamine, ekspluateeri- mine
aus/bilden	kujundama, arendama
aus/bilden, sich	(välja) kujunema; end aren- dama, täiustama
aus/breiten	laiali laotama, laiendama, avardama
X aus/dehnen	X paisutama; venitama; piken- dama; vormima (plastmasse)
aus/dehnen, sich	paisuma; venima; pikenema
Ausdehnung f; -	venitamine, venimine; paisu- mine; pikendamine, pikendus
aus/drücken, sich	väljenduma
zum Ausdruck bringen	väljendama
ausei'nander/nehmen (a,o)	lahti võtma, monteerima
ausei'nander/reißen (i,i)	katki käristama, puruks re- bima
ausei'nander/setzen	üksikasjaliselt esitama; seletama, arutama
sich mit einer Frage aus- einandersetzen	mingi küsimusega tegelema, mingit küsimust arutama
aus/erwählen	välja valima; määrama (kellekski v. millekski)
Ausführung f; -	täitmine, teostamine; valmis- tamine; konstruktsioon; ette- kanne, kõne
Ausgabe f; -, -n	väljaminek; väljaanne, trüki- väljaanne

Ausgangsmetall n; -s, -e	lähtemetall
Ausgangsstoff m; -(e)s, -e	lähteaine
Ausgangsvolumen n; -s, - od. ...mina	lähteruumala
Ausgangszustand m; -(e)s, "e	lähteseisund, -olukord
aus/geben, sich (a, e)	kellenagi esinema, end kelleks- ki nimetama
ausgedient	väljateeninud (sõdur); ära- kantud, kõlbmatuks muutunud
aus/gehen (i, a) (s)	välja minema; algama, lähtu- ma; lõppema; kustuma
aus/kommen (a, o) (mit etwas)	(omadega) välja tulema, ots otsaga kokku tulema; toime tulema
aus/laufen (ie, au) (h, s)	kandmisega läbi kulutama; välja voolama; väljuma; inertsil mõjul peatuseni vabalt liikuma
aus/laugen	leelistama; leotama, välja leelistama
aus/lösen	vallandama, esile v. välja kutsuma, lahti päästma
Ausnahmefall m; -(e)s, "e	erandjuhtum
aus/reichen	piisama, jätkuma, küllalt olema
Aussage f; -, -n	ütlus, väljendus, avaldus, arvamus; tunnistus
aus/scheiden (ie, ie)	eraldama; (välja) praakima; sadeistama; settima
aus/schlagen (u, a)	välja lööma, välja taguma; (laiaks) taguma; välja raiu- ma; (laudadega) vooderdama; puhkema (pungade kohta); kõrvale kalduma, hõlbima
ausschlaggebend	otsustav, otsustava tähtsu- sega
aus/schließen (o, o)	välja heitma, (nimestikust) kustutama; välistama, kõrval- dama; (ametist) tagandama, vallandama
aus/schütten	välja puistama; välja kalla- ma v. valama

Aussehen n; -s

aus/setzen

aus/spülen

aus/stellen

Ausstoß n; ...össes, ...össe

Austausch n; -es

aus/zeichnen

aus/zeichnen, sich

Auto'klav n; -s, -en

A'zot n; A'zote n od. n; -s

azc'tieren

välimus

allutama; katkestama, seisma
jätma; välja istutama; (an +
Dat.) kritiseerima; katkema;
peatama, seisma jääma

välja loputama

seadestama; varustama

(tööstuslik) väljalase, pro-
duktsioon; töönorm, tootmis-
norm

vahetus

ära märkima, esile tõstma;
autasustama

välja paistma, silma paistma

autoklaav

lämmastik

asoteerima; asoteerima

B

Bausteine n; -(e)s, -e

Bad n; -(e)s, "er

bakteri'id

baanisch

Bauart f; -, -en

in Bausch und Bogen

Baustein n; -(e)s, -e

Bauwesen n; -s

be'achten

Becher n; -s, -

Bechorglas n; -es, "er

Becken n; -s, -

Be'darfs Güter pl

telliskivi

kümbus, suplus; ujula; saun;
kuurort; vann; lahus

bakteritsiidne, baktereid
hävitav

aluseline

ehituslaad

tervenisti, täielikult

ehituskivi; lüli (polümeerses
ahelas)

ehitamine, ehitustegevus

tähele panema, silmas pidama;
arvesse võtma

karikas, peeker; kopp

keeduklaas

kauss; maldorg, nõgu; bassin,
veehoidla; reservuaar

rahvatarbeesemed, laiatarbe-
kaubad

be'denken (a, a)	kaalutlema, järele mõtlema, arvesse võtma
Be'denken n; -a	läbi-, järelemõtlemine
Be'deutung f; -, -en	tähendus; tähtsus
große Bedeutung erlangen	suurt tähtsust osandama
be'dienen, sich	tarvitama, kasutama
Be'dienstungsleute pl	teenindav personal
be'dürfen, be'durfte, be'durft	vajama, tarvitama
Be'dürfnis n; ...issen, ...isse	vajadus, tarvidus
be'einflussen	mõjustama
be'fangen	mõjustatud; in Text: kasutamas
be'fassen, sich	tegelama, tegemist tegema
be'fördern	transporteerima, edasi toimetama, saatma, kohale toimetama; ametikõrgendust andma, ülendamata; soodustama, edendamata, kiirendama
Be'friedigung f; -, -en	rahuldamine; rahuldus
be'gegner (s)	hohtuma, kokku sattuma v. juhtuma; juhtuma, toimuma
die Ansichten waren ihm nicht begegnet	ta ei olnud nende vaadetega kokku puutunud
be'gehrt	nõutud, ihaldatud
be'geistern	vaimustama
be'gnügen, sich	rahul olama, rahulduma (sill- legagi)
Be'griff n; -(e)s, -e	mõiste; termin
be'gründen	rajama, asutama; põhjendama
Be'gründung f; -, -en	tõendus, väide
Be'hälter n; -s, -	reservuar; paak; anum, nõu; talistern; konteiner; hoiukoht, mahuti, hoidla; vutlar
be'handeln	töötleva; hohtleva, käsitsena; käsitlema; ravima
Be'handlung f; -, -en	hohtlemine; käsitlemine; käsitlemine; käsitlemine; ravi; töötlemine; (teenus) käsitlus, arutlus, arendamine

be'haupten	vältma
Be'heizung f; -	kütmine; soojendamine; sooje- nemine
be'hördlich	ametlik; valitsuse-; kohtulik
be'hutsam	ettevaatlik, hoolikas, tähele- panelik
bei/mengen	juurde segama, lisama
be'inhalten	sisaldama, haarama, hõlmama
bei/tragen (u, a)	kaasa aitama, soodustama; oma panust andma
bei/wohnen	juures olema, osa võtma
be'kämpfen	(millegi) vastu võitlema
Be'kämpfung f; -, -en	võitlus, tõrje
be'kennen (a, a)	tunnistama; üles tunnistama, omaks võtma
als Autorität be'kennen	autoriteedina tunnustama
be'kloppen	ängistatud, surutud
be'lasten	koormama, peale laadima; rõhu- ma; deebetisse kirjutama
Be'lastung f; -, -en	koormus; ping
Be'lichtung f; -	valgustamine; eksponeerimine; säritamine; ekspositsioon
der photographische Belichtungsmesser	fotomeeter
be'liebig	iga, mistahes, milline ka (see olekski)
be'obachten	vaatlema; jälgima; (reegleist) kinni pidama
Be'obachtung f; -, -en	vaatlus, tähelepanek
be'rechnen	arvutama; hindama; arvele pa- nema; arvesse võtma, arvestama
Be'rechnung f; -, -en	arvustamine; arvestus, kalku- latsioon
Be'reich m u. n; -(e)s, -e	rajoon, piirkond, tsoon, sfäär; tegevuspiirkond, mõjukond; ulatus, amplituud; areaal
Be'reifung f; -, -en	rattakum; (auto)ratta pealis- kum
be'rechtigt	õigustatud

X Bergbau m; -(e)s	X mäesjandus; mäetööstus (leiukohtade kaevandamine)
Bergbat m; -(e)s, -e	mäenõunik
Be'richt m; -(e)s, -e	ettekanne; aruanne; teade; jutustus
Be'rieselung f; -	niisutus; piserdamine
be'rücksichtigen	arvestama, tähele panema, silmas pidama
Be'rücksichtigung f; -	arvessevõtt, arvestamine
be'rufen (ie, u)	(ametisse) kutsuma v. määrama; (koosolekut) kokku kutsuma
Be'rufung f; -,	kokkukutsumine; kutsumus; ametisse kutsumine v. määramine
X be'ruhen (auf etwas)	X (millelegi) põhinema, rajane- ma, toetuma, tuginema
Be'schaffenheit f; -	omadus, kvaliteet; loomus, laad; struktuur
X be'schäftigen	X tööd või tegevust andma
be'schicken	täis panema (näit. ahju kütte- materjaliga); peale laduma (sütt konveierile); saadikuid saatma, lähetama; täitma
be'schleunigen	kiirendama
Be'schleunigung f; -	kiirendamine, kiirendus
be'schränken, sich (auf etwas)	piirduma (millegagi)
be'schweren	midagi rasket (millelegi) asetama; koormama, rõhuma
X be'seelen	X hingestama; elustama; valmus- tama, innustama
X be'sitzen (a, e)	X valdama; omama, evima
X be'ständig	X konstantne, püsiv, muutmatu, jääv
säurebeständig	happekindel
X Be'ständigkeit f; -	X konstantsus, püsivus; muutu- matus, stabiilsus
Be'standteil m; -(e)s, -e	X koostisosa, komponent; osa
be'stätigen	tõestama; kinnitama; ratifit- seerima

be'stehen (a, a)	olemas olema, eksisteerima; kestma; vastu pidama, võitu saama
be'stehen (in etuas)	seisnema (milleski)
Be'stimmung f; -, -en	määratlemine, defineerimine; eeskiri; määrus; märkimine, tähistamine
Be'strahlung f; -, -en	kiirgus, radiatsioon; valgus-(ta)tus
die Sonnenbestrahlung	päikesevalgus
Be'streben n; -s	püüdlamine, püüd
Be'strebung f; -, -en	püüdlus, jõupingutus
be'streiten (i, i)	
Kosten bestreiten	kulusid katma
Be'tätigung f; -, -en	tegevus, aktiivsus; osavõtt (millestki)
be'teilligt sein	osa võtma
be'trachten	vaatlema; kaalutlema, järele mõtlema
be'trächtlich	märkimisväärne, tunduv
Be'trag m; -(e)s, *e	summa; väärtus; kokkuvõtt, tulemus; (mat.)suurus, väärtus
be'tragen (u, a)	moodustama, ulatama (suuruse kohta); vörduma
Be'trieb m; -(e)s, -e	ettevõtte; tehas; töö, tegevus, funktsioneerimine; ekaplausteerimine; ajaja, transmissioon; liikumine, elevus; (maagi) kaovandus; ääht; karjäär
in Betrieb befindlich	kasutatav
in Betrieb nehmen	käiku laskma
Be'triebsdruck m; -(e)s, *e	töörõhk
Be'triebsmittel m; -s, -zeugen	liikuv koosseis; tootmisvahendid
gehört über seinen Tagelohn	painutama
be'urlauben, sich	oma päeviku kohale kumardumalt
	puhkusele minema, puhkust võtma; (aastist) lahkuma

Be'vorzugung f; -, -en	eelistamine; privileeg, eesõigus
be'wahrheiten, sich	tõeks osutuma
X be'wahren	X hoidma, säilitama; kaitsma, hoidma
be'währen, sich	kõlblikuks osutuma; õigeks osutuma
be'wassert	kunstlikult niisutatud
be'wegen	liigutama; ümber asetama, teisale paigutama
be'wegt	im Text: liikuv
Be'weis m; -(e)s, -e	tõend, argument
Be'weisführung f; -, -en	argumentatsioon, loogiline põhjendite esitamine; tõestus
Be'weiskraft f; -	tõendusvõime
be'wirken	im Text: veenvus
be'zeichnen	põhjustama, tekitama, osile kutsuma; mõjustama
be'ziehen (o, o)	(ära) märkima, tähistama; (ära) tähendama, viitama; iseloomustama
be'ziehen, sich (auf etwas od. jemanden)	pealistama, peale tõmbama; (unde korterisse) minema; (kaupu) tellima, saama; (ajakirju) tellima; (raha) saama
Be'zugsubstanz f; -, -en	(kallelegi v. sillelegi) toetuma v. viitama
Bildhauer m; -s, -	lättesaine
billigen	skulptor, kujur
binden (a, u)	keaks kiitma; nõustama; sanktsioneerima
an Schwefel gebunden	X ühendama, siduma, kiinnitama
X Bindung f; -, -en	väävliühendites
Bittersalz n; -es, -	X ühend; ühinemine; side; (tsesendi) tardumine
Epsamer Bittersalz	mõrusool
X Blase f; -, -n	epsomit, mõrusool
blätt(e)rig	X null, vull; vill; rakk
	leherikas; soomseeline; plaatjas, lehtjas; kihiline

Blaufärbung f; -, -en

bläulich

Blech n; -(e)s, -e

Blei n; -(e)s

bleichen

die zu bleichende
Leinwand

Bleichmittel n; -s, -

bleiern

Bleiglanz m; -es

Bleikalk m; -(e)s, -e

Bleikammerschlamm m; -(e)s

Blende f; -, -n

blutjung

Boden m; -s, - und "

Bohrer m; -s, -

Bombe f; -, -n

-Bombenrohr n; -(e)s, "e

Brand m; -(e)s, "e

Braunstein m; -(e)s

bremsen

Brennbarkeit f; -

Brennstoff m; -(e)s, -e

brenzlig

Bronze ('br :s)

('br s) f; -, -n

brüchig

Buchsbaum m; -(e)s, "e

Bündel m; -s, -

siniseks värvumine; sinine
värvus; sinine (värvi-) var-
jund

sinakas

metallileht; plekk, kard;
lehtteras; lehtmetall

plii

pleegitama

pleegitatav lõuend

pleegitusvahend

pliiist; tinast

galeniit, pliiläik

in Text: pliioksiid

kambrimuda

obturaator; ekraneeriv seade;
illuminaatori siiber; pime-
luuk; kaevanduslamp; helk
(helgu) (mineraal)

verinoor, üsna nooruke

põhi; alus; maapind; pinnas
puur

spetsiaalsest klaasist tuge-
vate seintega ühelt poolt
suletav toru

tulekahi; põlemine; nõgi-
pea (taimehaigus)

pürolusiit, pruunkivi (man-
gaan(IV)oksiid)

pidurdama

põlevus, süttivus

kütus, kütteaine, põletusaine

kõrbenuhaisuline, -maitseline;
kõrbenud, põlenud

pronks

habras; rabe, murduv

pukspuu

kimp, vihk; pakk, komps

Bunsenbrenner m; -s, -
bzw. = beziehungsweise

X bunseni põleti
vastavalt

C

Che'miefaser f; -, -n

keemiline kiud, sünteetiline
kiud

chlo'rieren

kloorima

Chlorkalk m; -(e)s

kloorlubi, pleeklubi

Chlorstickstoff m; -(e)s

lämmastikkloriid

Chlorschwefelsäure f; -

kroomsegu

Gyprischer Vitriol =

vaskvitriol

Kupfervitriol m (od. n);

-s, -e

D

da'hinter/kommen (a, o)(s)

jälile saama, teada saama

Dampfdruck m; -(e)s

aururõhk

Dampfentwicklung f; -

auru teke, auru eraldumine

dar/bieten (o, o)

pakkuma

dar/legen

selgitama; seletama; tõen-
dama; esitama

darstellbar

X in Text: võimalik saada

dar/stellen

X kujutama; valmistama, tootma;
näitama, esitama; (keemili-
selt) prepareerima, valmis-
tama; osa täitma (teatris)

Darstellung f; -, -en

kujutamine, esitamine; toot-
mine, saamine; interpretat-
sioon; graafik, skeem

Dauer f; -

kestvus, vältus

auf die Dauer

pikaepale, ajaajooksul

X dehnbar

X venitativ, veniv; taotav;
elastne

X Dehnbarkeit f; -

X venitativus, venivus; sitkus,
venivus; taotavus, elastsus,
viskoossus

Destil'lieraufsatz m;

destillatsiooniseadmed

-(e)s, me

deuten

tõlgendama, tõlgitsema, sele-
tama

Dewargefäß n -
Dewarsches Gefäß

dgl. = dergleichen

d.h. = das heißt

d.i. = das ist

Dis'kontinuer'bindung f;
-, -en

Dichtung f; -, -en

zu Diensten stehen

dimensio'nieren

ist entsprechend der
Größe dimensioniert

Ding n; -(e)s, -e

divi'dieren (durch etwas)

Drahtglas n; -es, 2er

Drahtsieb n; -(e)s, -e

drängen

Ihre Zeit drängt

dreibasige Säure

Dreieck n; -(e)s, -e

ein reguläres Dreieck

Dreifuß n; -es, 2e

Druck n; -(e)s, 2e od. -e

duk'til

Dünger n; -s, -

dünn

durchaus

Durchführung f; -

Durchgang n; -(e)s, 2e

Dewari anan

diasocniumi ühend

lumle; tihendanine, tihendus;
topend; vahakiht; tihendus-
karp

teenima

mõttma, välja mõttma

on suurusele vastavate mõda-
tega

asi, ese

jagama (mat.)

armee'itud klass

traadist vorm (tselluloosi-
paberitööstuses)

(edasi) ajama, lükkama,
tõukama

Teil on kiire

koltsaluseline hape

kolnmurk

korrapärane kolnmurk

kolmajalg, statiiv

rõhk, surve; kompressioon,
kokkusurumine; kokkutõmbu-
mine; trükkimine, trükk; ära-
tõmme, äratrükk; ärift, kiri,
väljaanne, tiraaz

duktiline, veniv, plastiline

västis, västesaine; sünnik

shuko; hõre

täiesti, täielikult; tingi-
mata, kindlasti

teostamine, läbiviimine,
realiseerimine

läbimine, läbisine; läbi-
käik

durch'laufen (ie, au)	läbi jooksuma; kulgema
Durchmesser m; -s, -	diameeter
X durchschnittlich	X keskmine; keskmiselt, läbistikku
durch/setzen	läbima (mingit ainet); immutama; läbi tungima; midagi läbi viima v. kavatsust teostama
Düsenflugzeug n; -(e)s, -e	reaktiivlennuk
Düsentechnik f; -	reaktiivtehnika

E

Ebbe f; -, -n	mõõn
ebenmäßig	tasamõõduline, sümmeetiline
X edel	X õilis, üllas; vääris (-metall); inertne (gaas); rikas (maak)
X Edelgas n; -es, -e	X inertne gaas, väärisgaas
Edelmetall n; -(e)s, -e	väärismetall
Eierbecher m; -s, -	munatops, munapeeker
Eifer m; -s	ind, agarus, õhin
X eigen	X oma; omane
eigens	eriti, eriliselt; nimelt just
X Eigenschaft f; -, -en	X omadus; kvaliteet
X eignen, sich	X sobima
ein/beziehen (o, o)	kaasa arvama; kaasa tõmbama
Einbildung f; -, -en	kujutlus, fantaasia; iseteadvus, kõrkus, suurelisis
X eindeutig	X selge, ainult ühtmoodi mõistetav
ein/dringen (a, u) (s)	sisse tungima, juurduma
X ein/dunsten	X kuumutama
Einfall m; -(e)s, "e	sisselangemine; (ootamatu) mõte, idee
X Einfluß m; ...usses, ...üsse	X mõju
ein/fügen	sisse panema, sisse asetama; sisse v. vahele liitma; lisama

ein/gliedern	sisse viima; liitma
Einhalt ge'bieten (o, o)	peatama, katkestama
ein/halten (ie, a)	pidama; täitma; kinni pidama
in Einklang bringen	kooskõlastama
Einkünfte pl	sissetulekud, tulud
einleuchtend	selge, arusaadav; silmanähtav, ilane
ein/nehmen (a, o)	enda alla võtma, hõivama
✓ im Einsatz sein	✓ kasutusel olema, rakendamist leidma
Einschätzung f; -, -en	hindamine, hinnang; arvestamine
ein/schließen (o, o)	sulgema, lukustama; ümbritsema; blokeerima; ühes v. kaasa arvama; sisaldama, endas mahutama; (sulgudesse) panema
Einschränkung f; -, -en	(piirav) tingimus; kitsendamine
ein/schüchtern	nirmutama, heidutama
ein/setzen	sisse panema; mängu panema, panustama; tegevusse, kasutamisse rakendama; juurutama; tsementiitima (terast); algama
ein/sparen	kokku hoidma
ein/springen (a, u)(s)	sisse hüppama v. kargama; appi minema
ein/stellen	sisse panema, paigale asetama; reguleerima; käima panema (näit. tööpinki); (tööd) katkestama; teenistusse võtma
ein/treten (a, e) (s)	sisse astuma; algama
Einwand m; -(e)s, "e	vastuväide, väide
einwandfrei	laitmatu
✓ einwertig	✓ ühevalentne; üheaatomiline
✓ Einwirkung f; -, -en	✓ toime, mõju; reaktsioon
er hatte ... der Einwirkung einer Flamme ausgesetzt	oli ... leegil kuumutanud

Eisenerzvorkommen n; -s, -	rauamaagi leiukoht
Eisenmetall n; -s, -e	must metall
Eisessig m; -s, -e	jää-äädikas, 100%-line äädikhape
Eisenmetallurgie f; -	mustmetallurgia
X Eiweiß n; -es, -e	X munavalge; valk; proteiin
X Elek'tronenanordnung f; -	X elektronide konfiguratsioon
Elekt'ronenschale f; -, -n	elektronkate
X emp'fehlen (a, o)	X soovitama
es empfiehlt sich	on soovitav; tuleb soovitada
X emp'findlich	X tundlik
im Text: empfindlicher	valusamalt
X quecksilberempfindlich	X reageerib elavhõbedaga
Emp'findlichkeit f; -	tundlikkus; valgustundlikkus; sensibilisatsioon; keemiline tundlikkus
em'por/kringeln (s)	ülespoole looklema; rõngas- tena ülespoole tõusma
em'por/schnellen	üles viskama, pilduma; üles kargama, püsti hüppama
Ener'giezufuhr f; -, -en = Ener'giezuführung f; -, -en	energia juurdeandmine
ent'fachen	lõkkele puhuma; õhutama
ent'fallen (ie, a) (s)	käest kukkuma; meelest mine- ma, ununema; osaks langema
ent'falten, sich	arenema
ent'fernen	eemaldama
ent'fetten	rasva eemaldama, rasvast puhastama
Ent'formung f; -, -en	vormist v. pressvormist väljavõtmine
Ent'gasung f; - = Ent'gasen n; -s	degaseerimine; gaasi kõrval- damine, gaasist tühjendamine; utmine, kuivdestillatsioon; koksistamine
ent'gegengesetzt geladene Körper	erinemeliste laengutega kehad
Enthal'pie f; -	entalpia
X ent'halten (ie, a)	sisaldama; sisalduma

X ent'härten	X (vett) pehmeks muutama; (terast) noolutama
ent'härtetes Wasser	(kaltsiumsoolade lagunemisega) pehmeks muudetud kare vesi
Ent'keimen n; -s	steriliseerimine, haigusidutuks tegemine
X Ent'ladung f; -, -en	X mahalaadimine; tühjendamine; tühjakslaadimine
die elektrische Ent'ladung	elektriline lahendus
Ent'nahme f; -,	(ära)võtmine, (välja) võtmine; (proovi) võtmine
ent'rollen	lahti rullima
Ent'schluß m; ...usses, ... üsse	otsus
ent'stehen (a, a) ()	tekkima
ent'strömen	välja voolama v. hoovama
ent'weichen (i, i) ()	lendumas; haihtuma, kaduma; välja voolama
ent'werfen (a, o)	visandama, kavandama, projekteerima; välja töötama, (plaan v. projekte) koostama; teostama teatud tehnilise ülesande eksperimentaalset, arvestuslikku ja konstruktiivset läbitöötamist
X ent'wickeln	X arendama; eraldama; vabastama; ilmutama
ent'wickeln, sich	arenema; eralduma, vabanema
ent'ziehen (o, o) (jemandem etwas)	(kedagi millestki) ilma jätma; ära võtma (kelleltki midagi)
X ent'zünden, sich	X süttima, lõkkele lööma; põletikku lööma
er'achten	arvama, pidama (millekski)
er'arbeiten	tööga teenima v. saavutama, välja teenima
er'bitten (a, e) (etwas von jemandem)	(kelleltki midagi) tungivalt paluma, välja manguma
Erbe n; -s, -	pärand, pärus
erden	maandama
er'denken (a, a)	välja mõtlema; kujutlema; leiutama

Erdgas n; -es, -e	looduslik gaas
Erdoberfläche f; -	Maa pind
✓ Erdöl n; -s bei der Erdölverarbeitung anfallende Gase	✓ nafta naftatöötlemistehaste gaasid
✓ Er'folg m; -(e)s, -e	✓ edu, edusamm; tulemus
✓ er'folgen	✓ tulenema, tulemuseks olema
er'gänzen	täiendama
✓ er'geben (a, e)	✓ tulemuseks andma
er'geben, sich	alistuma, kapituleeruma; osutuma; selguma, ilmnema; tulemuseks olema, tulenema; järelduma; anduma (millelegi)
Er'gebnis n; ...nisses, ...nisse	tagajärg; tulemus, resultaat; järeldus
er'gründen	(jõe) sügavust mõõdma; uurima; (põhjalikult) tundma
er'halten bleiben	õppima, süvenema
✓ er'härten	säilima; püsima jääma
Er'härten n; -s	✓ kõvastuma; tahkuma; tarduma
er'heblich	kõvastumine; tardumine; tahkestumine, tahkumine
✓ Er'hitung f; -, -en	tähelepanuväärne, tähelepandav; tähtis, tunduv
✓ er'höhen	✓ soojustamine, soojendus; soojenemine; kuumutamine, hõõgvele ajamine
✓ Er'kalten n; -s	✓ suurendama; tõstma, kõrgendamata
✓ er'kennbar	✓ jahutamine; jahtumine
er'kennen (a, a)	✓ tuntav, märgatav; tunnetatav
✓ Er'kenntnis f; ...nisse	ära tundma; tunnetama; ära nägema, märkama
Er'läuterung f; -, -en	✓ tunnetus; arusaamine; (teaduse) saavutus
✓ er'leiden (i, i)	seletus, selgitus
das gleiche Schicksal erleiden	✓ kannatama; taluma
er'mitteln	sama saatuse osaliseks saama
	(uurimise teel) üles leidma, avastama; välja selgitama; kindlaks tegema

Er'örterung f; -, -en	arutlus; arutamine
✓er'reichen	✓jõudma (kuhugi); saavutama (aidagi)
er'richten	püstitama; rajama; ehitama
✓Er'satz m; -es	✓asendamine, asendus, substitutsioon; tasu, hüvitus, kompensatsioon; aseaine, surrogaat
er'schaffen (u, a)	loomaa
✓Er'scheinung f; -, -en	✓ilmumine; nähtus; välimus, nähtumus
in Erscheinung treten	✓nähtavale tulema, ilmuma
✓Er'scheinungswelt f; -	✓nähtumuste maailm
er'schließen (o, o)	✓avastama (maapõuevarasid); avama; omandama (maad, loodusrikkusi); ette valmistama (paikkonda hoonestamiseks)
Er'schließung f; -, -en	maapõuevarade avastamine; (paikkonna) ettevalmistamine (hoonestamiseks)
er'schöpfend	ammendav, põhjalik, igakülgne
er'schüttern	vapustama, põrutama
✓er'setzen	✓asendama
er'sichtlich	nähtav; ilmne, selge
✓er'starren	✓tahkestuma, kõvastuma; tahkuma; tarduma; kristalliseeruma
er'sticken	läämatama; lämbuma
er'streben	taotlema, püüdlema
er'wähnen	mainima, nimetama
✓er'weisen, sich (ie, ie)	✓osutama
er'wischen	tabama, kinni nabima
✓Erz n; -es, -e	maak
✓er'zeugen	✓sigitama; tekitama; tootma, valmistama, produtseerima; moodustama
Er'zeugung f; -	tootmine, valmistamine; väljalase; produktsioon, valmistooted

er'zielen	saavutama, (kätte) saama
X Essig m; -s, -e	X äädikas
essigsäure Tonerde	savimulla äädikas
X Essigsäure f; -	X äädikhape
etwa	umbes
et'waig	võimalik, juhtuda võiv
evaku'ieren	evakueerima; hõrendama; välja v. tühjaks pumpama; (välja) inema
X ewig	X igavene
Eri:stenzberechtigung f; -	olemasolu õigustamine
expan'dieren	paisuma
Expan'sion f; -, -en	paisumine
Experi'ment n; -(e)s, -e	katse, eksperiment
ein Experiment anstellen	katset korraldama, tegema
expli'zit	ilmselt, silmanähtav, selge
X explo'sibel	X (kõrgesti) plahvatav
X Explosi'on f; -, -en	X plahvatus
X explosi'onsgefährlich	X plahvatusohtlik

P

Fachmann m; -(e)s, "er od. -leute	spetsialist, eriteadlane
X Fähigkeit f; -, -en	X võime, oskus, anne, talent
X Fall m; -(e)s, "s	X langemine, kukkumine; juhtum
ist nicht der Fall	ei esine
X fällen	X raiuma; langetama (metsa); (sähti) süvendama; sadestama; sadestuma; settima; eraldama; eralduma
falls	juhul kui; kui
X Fällung f; -	X sadestamine; sadestumine; settimine; metsaraie
Fällungsmittel n; -s, -	sadesti, sadet tekitav aine
fälschlich	vale, ebaõige, väär
X Farbe'rei f; -, -en	X värvimistöökode, värvikode

Farbflotte f; -, -n	värvimisvedelik
Farbträger m; -s, -	substraat; kromofoor, aatom, mille rühmade esinemisel molekulis aine on värviline
✓ Faser f; -, -n	✓ kiud; narmake, niidike
Fassungsraum m; -(e)s, -e	kagulik mahutavus, maht
✓ faulen	✓ roiskuma, mädanema, riknema
Fäulnis f; -	roiskumine, mädanemine, lagunemine
feinmaschig	peenesilmaline (võrgu kohta)
Fell n; -(e)s, -e	nahk; karusnahk; kate, kile, kelme (anat.)
ferner = weiter	
Fernsehen n; -s	televisioon
fertig/stellen	valmistama; lõplikult viimist- lema; valmis ehitama
fesseln	aheldama; kammitsema
✓ fest	✓ kindel; kõva, massiivne; tahke; tihe; püsiv; statsio- naarne
✓ fest/halten (ie, a)	✓ kinni hoidma; meeles pidama
festigen	kinnitama, kinnistama
✓ fest/setzen	✓ kindlaks määrama, määrama
Festsetzung f; -, -en	kindlaksmääramine; lahendus, otsus; vangi-, kinnipanek
fest/stellen	kindlaks määrama; kindlaks tegema; konstateerima; fik- seerima
ist feststellbar	saab kindlaks teha
✓ Fetthärtung f; -	✓ rasvade hüdrogenisatsioon, hüdrogeenimine
Fettkalk m; -(e)s	rammus lubi, (pulbriline) kustutatud lubi
✓ Feuchtigkeit f; -	✓ niiskus
✓ Feuerbeständigkeit f; -	✓ tulekindlus; kuumakindlus
Feuerzeug n; -(e)s, -e	tulemasin, "välgumihkel"
Firnis m; ...nisses, ...nisse	värnits
✓ flach	✓ lame, tasane
✓ Flamme f; -, -n	✓ leek

X Flampunkt m; -(e)s, -e =
- Ent'flammungspunkt m; =
- FP

Fließpapier n; -s, -e

flüchtig

X Flüchtigkeit f; -

Flugstaub m; -(e)s, -e

X flüssig

X Flüssigkeit f; -, -en

flüssigkeitsbeladen

Flußmittel n; -s, -

Flußsäure f; -, -n

Flußspat m; -(e)s, -e od. "e

Flut f; -, -en

X folgern

folgerichtig

Forderung f; -, -en

formbeständig

Formel f; -, -n

fortschrittlich

freilich

frei/stellen

Frischhaltung f; -

X fruchtbar

fügen

X Füllung f; -, -en

Funkenbildung f; -, -en

fundamen'tal

Funkenelektronik f; -

X Führung f; -

X süttimistemperatuur; leek-
punkt

kuivatuspaber

X õgus; lenduv

X lenduvus

lendtuhk

Y vedel, sula

Y vedelik

vedelikkude aurusid sisaldav

sulandaja; räbusti, fluss

broomvesinikhape

sulapagu (mineraal), fluo-
riit

tõus; vool, voolus; üleuju-
tamine; kõrgvesi

X järeldama

järjekindel; loogiline

nõue, nõudmine

vormilt muutumatu, püsiv

valem

progressiivne, eesrindlik

küll, tõsi küll

vabastama; vaba valikut jät-
ma

värskena säilitamine, konser-
veerimine

X viljakas

lisama; liitma, ühendama;
korraldama; määrama

X täitmine, täide, täidis;
polster

sädelahendus

põhjapanev, fundamentaalne

raadioelektroonika

X juhtimine; ümberasetus

G

Gallapfel m; -s, "e	pahkpähkel, pahk
Galle f; -, -n	sapp
gal'vanisches Bad	galvaani vann
Ga'vano n; -s, -s	puit- või tsinkklišeest galvanoplastilisel teel val- mistatud jäljend, galvaano
X Gang m; -(e)s, "e	X käik; kulg; tsükkel; operatsioon; (auto) käik, kiirus pooleli jääma;
X in Gang bleiben	X jätkuma
ganzzahlig	täisarvuline
X Gärung f; -, -en	X käärimine; fermentatsioon
Gaszustand m; -(e)s, "e	gaasiline olek
geben (a, e)	andma; (juurde) lisama; (kuhugi) valama
X Ge'biet n; -(e)s, -e	X piirkond, ala
Ge'bilde n; -(e)s, -e	kujund, moodustis; struktuur, ehitus
X Ge'brauchsmetall n; -s, -e	X tarbemetall
Ge'dankenverbindung f; -, -en	mõtete seos
X ge'diegen	X ehe, puhas
X ge'eignet	X kohane, sobiv; kõlblik
X Ge'fäß n; ...sses, ...sse	X nõu, anum, paak, reservuaar; mahutavus, maht
Gegenbeweis m; -es, -e	vastuargument, vastutõend
X Gegensatz m; -es, "e	X vastand; vastuolu, vastu- rääkivus
X Gegenstand m; -(e)s, "e	X ese, asi; (uurimis-)objekt
Gegenteil n; -(e)s, -e	X vastand
X im Gegenteil	X vastupidi; vastandina (mille- legi)
gegen'über/stehten (a, a)	vastas olema, vastamisi seis- ma
gegen'über/stellen	vastandama; võrrelda, võrd- lema
X Gegenwart f; -	X juuresolek, kohalolek; olevik, nüüdisaeg
X in Gegenwart = bei Gegen- wart	X juuresolekul, manulusel

X Ge'halt m; -(e)s, -e	X sisu, sisaldavus
Ge'halt n; -(e)s, "er	X palk
X ge'heim	X salajane, sala-; salapärane, saladuslik
X ge'heim/halten (ie, a)	X salajas hoidma v. pidama; varjama
ein Ge'heimnis lüften	saladust paljastama
von sich gehen (i, a) (s)	toimuma, aset leidma
X Geist m; -(e)s, -er	X vaim; hing; alkohol, piiritus
Geistliche m; -n, -n	vaimulik
ge'langen	sattuma; pärale jõudma, saabuma
X Ge'legenheit f; -, -en	X soodus juhus, soodus võimalus
X ge'lind(e)	Y mõõdukas
bei gelindem Feuer	nõrgal tulel
gelten (a, o)	X kehtima, maksev olema
sie gelten als Entdecker	neid peetakse avastajateks
es galt jetzt	nüüd oli vaja
ge'mein	X ühine; üldine; tavaline, lihtne
X ge'meinsam	X ühine, kollektiivne; üheskoos, ühiselt
Ge'misch n; -es, -e	X segu
X ge'nießbar	nauditav, maitstav; söödav, joodav
sich genötigt sehen	sunnitud olema
zur Ge'nüge	küllalt, küllaldaselt; piisavalt
Ge'nuß m; ...usses, ...üsse	maitsmine, nautimine; tarvitamine (söömine, joomine)
Ge'plätscher n; -s	loksumine
Ge'rät n; -(e)s, -e	seadis, instrument, aparaat; mehhanism; masin, agregaat; ekskavaator (mäenduses)
geringfügig	vähetähtis; mitteoluline, tähtsusetu, tühine
X Ge'ruch m; -(e)s, "e	X haistmine; lõhn; lehk, hais
ge'ruchlos	X lõhnatu

X ge'samt	X kogu; kõik
Ge'samtheit f; -	kogu, tervik
Ge'samtgewicht n; -(s)s,-e	kogukaal
X ge'sättigt	X küllastatud, küllastunud
Ge'schick n; -(e)s,-e	osavus, oskus; võime; talent; saatus
Ge'schicklichkeit f; -	osavus; väledus; oskus
X ge'schmacklos	X maitseta
geschwefeltes Alkali	polüsulfiidide segu, mis on tekkinud väävli kokkusulatamisel potasega
ge'schwefelter Ar'senik	diarseentrisulfiid
ge'schwefeltes Blei	plii (II) sulfiid
ge'schwefeltes Quecksilber	elavhõbe (II) sulfiid
ge'schwefelte Soda	polüsulfiidide segu, mis on tekkinud väävli kokkusulatamisel soodaga
ge'schweige denn	liiatigi siis, veel vähem (siis)
X Ge'setz n; -es, -e	X seadus
X das Gesetz der Erhaltung des Stoffes	X aine jäävuse seadus
das Gesetz der mehrfachen (multiplen) Gewichtsverhältnisse	kordsete suhete seadus
das Gesetz von den konstanten Gewichtsverhältnissen	koostise püsivuse seadus
X Ge'setzmäßigkeit f; -, -en	X seaduspärasus
X ge'stählt	X karastatud
ge'staltten	kuju andma, vormima
ge'staltten, sich	ilmet võtma, kujunema, (välja) arenema; moodustuma
X Ge'stank m; -(e)s	X hais, lehk
X ge'statten	X lubama
ge'sundheitsgefährdend	X tervist ohustav
Ge'tränk n; -(e)s, -e	jook
ge'trost	julge, rahulik

ge'wachsen	jäi maha
zeigte sich nicht	garantii, tagatis; käendus
gewachsen	andma, pakkuma; täitma, rahuldama (palvet)
Ge'währ f; -	garanteerima, tagama; kindlustama; käendama
ge'währen	kude; kangas; riie
ge'währleisten	tööndus, tööstusala; käsitöö; tegevusala
Ge'webe n; -s, -	kaal; raskus; kaalupomm, kaaluviht
Ge'wert n; -s, -	tulu, kasu; profiit, kasum; võit
X Ge'wicht n; -(e)s, -e	X kasu saama, võitma; tootma; (maapõuest) ammendama, kaevandama
X Ge'winn m; -(e)s, -e	X tootmine; saamine; kaevandamine, ekspluateerimine (mäenduses)
X ge'winnen (a, o)	valamisprotsess, valuprotsess
Ge'winnung f; -	X valge arseenik, diarseen-trioksiid
'Gießprozeß m; ...esses, ...esse	kipsvalatis
X Giftmehl n; -(e)s	X läige, sära, helk; läik (mineraal)
Gipsabguß m; ...usses, ...üsse	email, vaap; klaasisulatis; sulaklaas
X Glanz m; -es, -e	klaasisulatis; sulaklaas
Glasfluß m; ...usses, ...üsse	X ühtlane
Glasschmelze f; -, -n	X võrdsustama, võrdseks tegema, ühtlustama
X gleichmäßig	X samastama, identifitseerima
X gleich/setzen	X alalisvoolu allikas, patareid
X etwas einander gleichsetzen	X võrrand
X Gleichstromquelle f; -, -n	sellegipärast, ometigi, ikkagi
X Gleichung f; -, -en	liige; lüli; organ; element; sektsioon; (võrrandi) osa, liige
gleichwohl	
X Glied n; -(e)s, -er	

glitschig, glitscherig	libe
X glühen	X hõõgutama, kuumutama; (läbi) kuumutama; lõõmutama; hõõguma, põlema, leegitsema
X Glühlampe f; -, -en	X hõõglamp
X Glut f; -, -en	X lõõm, kuumus
Goldmachen n; -s = Goldmacherei f; -	kullategemine, alkeemia
Graukalk m; -(e)s	hall lubi
greifbar	kombatav, tuntav; ilmne, silmanähtav; käegakatsutav
Grenzfall m; -(e)s, "e	piirijuhtum
Griff m; -(e)s, -e	haare; käepide; vars, kõrv, sang
grimmig	käre
X grobkristallin	X suurekristalliline
großflächig	suure pindalaga, suurepinna-
	line
großzügig	laias ulatuses; suurejoonelisel
X grübeln	X juurdlema, pead murdma
X Grund m; -(e)s, "e	X põhjus, põhjendus; põhi; pinnas; org, lohk, nõgu; alus, põhjendus
X im Grunde genommen von Grund auf	X õieti, õigupoolest põhjani
Grundbaustein m; -(e)s, -e	konstruktsiooni element, konstruktiivne element
Grundbestandteil m; -(e)s, -e	peamine koostisosa, element
grundlegend	põhjanev, fundamentaalne
Grundriß m; ...isses, ...isse	põhikavand; horisontaalne projektioon; lühikursus, ülevaade; alused
Grundsatz m; -es, "e	põhitõde, põhilause; põhimõte, printsiip; postulaat; aksioom; reegel
X Grundstoff m; -(e)s, -e	X algaine, põhiaine; keemiline element
Grundvoraussetzung f; -, -en	peamine, tähtsaim eeldus
Grundzug m; -(e)s, "e	põhi-, peajoon

Grünspan m; -(e)s

Gut n; -(e)s, "er

Gutachten n; -s, -

vaserooste

mõis; varandus; materjal;
kaup; maakisisaldav kivim

arvamus, hinnang, otsus;
ekspertiis; aktsia, osatäht

H

Haar n; -(e)s, -e
tierische Haare

Haftfestigkeit f; -

Hallenbad n; -(e)s, "er

✓ haltbar

✓ -haltig, -hältig
aluminiumhaltig

Hand f; -, "e
das liegt auf der Hand

✓ handeln = im Text: behandeln
wird in Stahlflaschen
gehandelt

Handel m; -s

✓ Härte f; -
bleibende Härte

✓ härten

Härteskala f; -, -s od.
...len

Hartgummi m; -s

Hartmetall n; -s, -e

Harz m; -es, -e

Haselnuß f; ...usses, ...üsse

✓ Hauptsatz m; -es, "e

✓ Haut f; -, "e
die Kupferhaut

juus; karv
loomakarvad

kohesiooni- v. adhesiooni
tugevus

sisebassein

✓ püsiv, stabiilne, tugev;
vastupidav

✓ sisaldav; rikas
alumiiniumrikas

see on päevselge, ilmne

✓ käsitsema; käsitlema
hoitakse ja transporditakse
terassilindrites

kaubandus; kaubatehing,
operatsioon

✓ kõvadus; tankus; (vee)karedus;
jääv (vee) karedus

✓ karastama; kõvastuma; tahku-
ma; tarduma; tugevndana; kin-
nistama; hüdrogeenima, hüd-
reerima

kõvadusastmik

eboniit

kõvasulam

vaik; kampil

(sarapuu)pähkel; sarapuu

✓ põhiteoreem; (termodünaamika)
seadus

✓ nahk; kile; kate; kest
õhuke vasekiht

Hautausschlag m; -(e)s, "e	nahalööve
Hautreiz m; -es	naha ärritamine, naha vere- ringe kiirendamine
Heber m; -s	tõstel, sifoon, liiver; kang
X Heilkunde f; -	X arstiteadus
X Heilmittel n; -s, -	X ravim, ravivahend
Heilwasser n; -s, "e	tervisevesi
heimtückisch	salakaval
Heizbad n; -(e)s, "er	kuumutusvann
X Heizkörper m; -s, -	X küttekeha, küttepatarei; ka- lorifeer; hõõgspiraal; radiaa- tor
Heizplatte f; -, -n	käeduplaat; elektripliit
Hektarertrag m; -(e)s, "e	hektarisaak
Hemmung f; -, -en	viivitus, peatus; raskus, kitakus; takistus; pidurdus, pärssimine
her'aus/ragen	välja ulatuma, esile ulatuma
her'an/ziehen (o, o)	juurde v. lähemale tõmbama; kaasa tõmbama; üles kasvatama
her'aus/heben (o, o)	välja võtma, välja tõmbama; esile tõstma
Her'auslösen n; -s	tekstis: vabanemine, sulamist eraldumine
X Herd m; -(e)s, -e	X kolle; ahjupõrand; sepaääs; (plahvatuse) epitsenter; (maavärisemise) hüpotsenter
der heimatliche Herd	kodukolle
her/geben (a, e)	ära andma
herkömmlich	tavaline; traditsiooniline
X Herkunft f; -, "e	X päritolu; põlvnemine
her/rühren	pärinema, pärit olema, põlvne- ma; tulnud olema
X Herstellen n; -s	X valmistamine; tootmine
X her/stellen	X tegema; valmistama; tootma
her'vor/bringen (a, a)	esile tooma; kuuldavale tooma; esile kutsuma, põhjustama

her'vor/gehen (i, a) (s)	(välja) tulema; tulenema; tekkima; pärimema; järelduma, selguma, nähtuma
her'vor/rufen (ie, u)	välja kutsuma; esile kutsuma, tekitama, põhjustama
her'vor/treten (a, e) (s)	esile astuma v. tulema; välja paistma
hin'gegen	seevastu
hinreichend	küllaldane, piisav
hin/weisen (ie, ie)	(millelegi) viitama v. osu- tama; (millelegi) vihjama
hin'zu/treten (a, e) (s)	juurde v. lähemale astuma; ühinema, liituma
Hirngespinnst n; -(e)s, -e	viirastus, fantaasia sünnitus
hochaufgeschossen	pikk ning kõhetu
Hochdruck m; -(e)s, "e	kõrgrõhk
hochmolekular	kõrgmolekulaarne
hochwertig	kõrge kvaliteediga, kõrgemat sorti; täisväärtuslik
Höchstwertigkeit f; -, -en	kõrgeim valents, maksimaalne valents
höchstwirksam	kõige efektiivsem
Höhensonne f; -	kõrgus(tiku)päike
hohl	õõnes
Hohlraum m; -(e)s, "e	õõs, tühi, õõnsus
Höhlung f; -, -en	õnar, soon; nõgu, lohk
Holzäsche f; -	puutuhk
Holzgeist m; -(e)s	puupiiritus, metüülalkohol
Holzgewinnung f; -	metsavarumine
Hülle f; -, -n die Atomhülle	kest, ümbris, kate; vutlar aatomi elektronkate
Hülse f; -, -n	hülss, kest; vahelaht; padrun; padrunipide
Hütte f; -, -n	onn; metallurgiatehas; klaasi- tehas; kajut
Hüttenbasis f; -, ...ssen	metallurgiabaas
Hydratati'onswärme f; -	hüdratatsiooni soojus
Hydrati'onswärme f; -	
Hyd'rathülle f; -, -n	veemolekulide kiht hüdratisee- ritud looni ümber

I

Ichts n

ide'ell

im'stande sein

Inbe'trieibnahme f; -

X inexpl'o'sibel

inne/wohnen

Investiti'on f; -, -en

In'vestmittel n; -s, -

X I'onengitter n; -s

im Text: midagi

mõtteline; kujutluses olev;
kujuteldav, mõeldav

(millekski) suuteline v.
võimeline olema; (midagi)
suutma

eksploatatsiooni võtmine,
käikulaskmine

X mitteplahvatav

asuma, olema

kapitalimahutus

kapitaalkulutused

X loonivõre

J

jeglich

jemals

X jeweilig

jeweils

igasugune

kunagi, millalgi

X igakordne; sel korral, igal
korral olemasolev v. kehtiv

iga kord

K

Kalb n; -(e)s, "er

X Kalk n; -(e)s

der gelöschte Kalk

X Kalkmörtel n; -s, -

Kalkstein m; -(e)s, -e

X Kalkwasser n; -s

X Kältemaschine f; -, -n

Kältemischung f; -, -en

Kalzination f; -, -en

im Text: - Oxydation f.

vasikas

X lubi; lubjakivi; varem:

oksiid

kustutatud lubi

X lubjamört

lubjakivi

lubjavesi

X külmutusmasin

külmutussegu; jahutussegu

den Kampf an/sagen	sõda kuulutama
in Kauf (mit-)nehmen (a,o)	pealekauba võtma; leppima
keimen	idanema, tärkama, võrseid ajama
keinesfalls	mitte mingil juhul
kennzeichnen	markeerima, tähistama; iseloomustama
Kennzeichnung f; -, -en	tähistamine; iseloomustus
Kern m; -(e)s, -e	tuum; tera; (puuvilja) kivi; seeme; südamik
Kernladungszahl f; -, -en	tuumalaeng; järjenumber, aatominumber
Kernre'aktor m; -s,...'oren	tuumareaktor
Kette f; -, -n	ahel; roomikukett
Kies m; -es, -e	kruus; sõmer; rähk; sulfiidmaak
Kieselgur f; -	diatomiit, infusoorimuld, kobediatomiit
Kieselsäure f; -	ränihape
Kinderharn m; -(e)s	lapseuriin
Klemme f; -, -n	näpits; klemm
Knallgas n; -es	paukgaas
Knallsäure f; -	paukhape, fulmiinhape
kneten	sõtkuma; vormima
knistern	pragisema, praksuma
Knoblauch m; -(e)s	küüslauk
Knochen m; -s, -	kont
Knorpel m; -s, -	kõhr
Knoten m; -s, -	sõlm
Kohlensäureschnee m; -s	kuiv jää, süsihappelumi
Kohlenstoff m; -(e)s	süsinik
Kohlenwasserstoff m; -(e)s	süsihappegaas
Kolben m; -s, - od.	kolb; plunzer, (pumba) kann
Kolbe f; -, -n	e. kolb; püssipära
kompri'mieren	kokku suruma, kokku pressima; tihendama, kondenseerima
einen Kompromiß schließen	kokkuleppele jõudma

X Königswasser n; -s
 Konsumti'onsmittel pl
 kontinu'ierlich
 Kordel f; -, -n
 Körnchen n; -s, -
 Kor'puskel n; -s, -n
 X auf Kosten
 Krappppflanze f; -, -n
 Kreisprozeß m; ...zesses,
 ...zesse
 Kruste f; -, -n
 X Kühler m; -s, -
 Kunde f; -, -n
 Kunstharz n; -es, -e
 X Kunststoff m; -(e)s, -e
 X Kupfer n; -s
 Kupferlasur f; -
 kupfern
 Küster m; -s, -
 Kü'vette f; -, -n

X kuningvesi
 tarbimisvahendid
 katkematu, pidev, lakkematu
 nööri
 terake, ivake
 korpuskel, osake
 X kulul
 madar
 tsükkel
 koor; koorik
 X jahuti; külmutuskapp; (auto)
 radiaator
 teade, sõnum
 sünteetiline vaik, tehisvaik
 X sünteetiline aine, plastmass
 X vask
 asuriit, vasklasuur
 vasest
 köster
 kitsas klaasist (leotus-,
 värvimis- v. loputus-)vannike,
 kuvett

L

lachsrosa
 Labor n (la'bo:r) od.
 ('la:bor); -s, -s od.-e
 = das Laboratorium

lõheroosa

X Ladung f; -, -en
 X Lage f; -, -n
 er ist nicht in der
 Lage zu ...
 lagern

X laadung; last; koorem;
 (elektri)laeng
 X asend, olukord, situatsioon;
 kiht, kihind; lasumus, lade, vinn
 tal pole võimalik (midagi
 teha)
 lattu panema, alal hoidma;
 laagerdama

Laie m; -n, -n	võhik, mittespetsialist, dilettant
landläufig	tavaline, üldiselt tarvitusel olev
landwirtschaftliche Nutzpflanzen pl	põllumajanduslikud kultuurid
Laufbahn f; -, -en	elukaik; karjaar
den Laufpaß geben	hundipassi andma
X Lauge f; -, -n	X lehelis, leelis, alkali; aluseline lahus, leeliseline lahus
X Lebensmittel pl	X toiduained
X Leber f; -, -n	X maks
lediglich	ainult, üksnes, vaid
X Le'gierung f; -, -en	X sulam, ligatuur
X Lehm m; -(e)s, -e	X savi (rauaühendite tõttu kollakas- kuni pruunivärviline peente kvartsiterade ja savi segu)
Leibarzt m; -es, "e	ihuarst
X Leistung f; -, -en	X võimsus; töö; jõudlus; saavutus
X Leistungssteigerung f; -, -en	X produktiivsuse tõstmine; edukuse parandamine (õppeasutustes, koolides)
Leiter m; -s, -	juhataja, juht; elektrijuht
X Leitfähigkeit f; -	X juhtivus; elektrijuhtivus
lesekundig	kirjaoskaja, oskab lugeda
Leuchte f; -, -n	valgusti, valgustusseadis
liefern	hankima, muretsema; varustama; tootma; andma
Lichtbogen m; -s = = der elektrische Lichtbogen	elektrikaar
X Lichtbrechung f; -	X valguse murdmine; valguse murdumine
X lichtempfindlich	X valgustundlik
liegen (a, e) woran liegt es?	lamama millest on see tingitud? mis on selle põhjuseks?

Litze f; -, -en

Löschkalk m; -(e)s

lösen

Lösemittel n; -s, -

löslich

Lösung f; -, -en

Lösungsmittel n; -s, -

Lösungswärme f; -

löten

Lücke f; -, -n

Luftballon m; (... 'l);
-s, -s od. (... 'lo:n);
-s, -e

lüften

Luftkalk m; -(e)s

Lufttrockenschrank m;
-(e)s, "e

2gutt; painduv juhe; (kõie)
keere; kaabli osa

kustutatud lubi

valla päästma; lahustama; la-
hendama; eraldama, lahutama;
(kruvi) lõdvemaks, lahti kee-
rama

lahusti, solvent

lahustuv

lahus; lahendus; eraldamine;
lõdvendamise

lahusti, solvent

lahustumissoojus

jootma, tinutama

vahekaugus; lõtk; ava; vahe-
mik; lünk, tühi; luuk, ava

õhupall, aerostaat

ventileerima, tuulutama

õhu käes seisnud lubi

õhkuivati

M

Magerkalk m; -(e)s

Mangel m; -s, "

Ma'rienglas n; -es

Massenbedarfsgüter pl

maßgebend

matt

Maulbeere f; -, -n

m.a.W. = mit anderen Worten

Mehrschichtssicherheits-
glas n; -es, -e

lahja lubi

puudus, puudujääk, defitsiit;
defekt, viga; rike

kristalne kips

rahvatarbekaubad

mõõtuandev, määrav, otsustav

tuhm, läiketu, matt

mooruspuu vili

kahest orgaanilise kihiga
ühendatud tahvlist sõidukite
jaoks valmistatud klaas, mille
killud purunedes laiali ei
paisku

Meinungsstreit m; -(e)s, -e	diskussioon, vaidlus
Menge f; -, -n	mass, hulk, kogus; kvantiteet
mengenmäßig	kvantitatiivne
Mennige f; -, -n	mennik, pliimennik, plii(II) tetroksplumbaat (IV), plii-ortoplumbaat
merklich	märgatav, nähtav; ilmne; tunduv
Merkmal n; -s, -e	tunnus, tundemärk
Metallkalk m; -(e)s, -e (nicht mehr im Gebrauch)	metallioksiid
Milchsäure f; -	piimhape
mindern	vähendada
Mineraldünger m; -s, -	mineraalväetis
Mineraldüngerkonzentrat n; -(e)s, -e	kontsentreeritud mineraalväetis
Mineraldüngemittel n; -s, -	mineraalväetis
mischbar	segunev, segatav
mischen	segama, segi liigutama
missen	(millestki) ilma olema, ilma (milletagi) toime tulema
Mittel pl	materiaalsed vahendid, ressursid
mittlerweile	vaheajal, sel ajal, samal ajal
Mo'lekel f; -, -n od. Mole'kül n; -s, -e	molekul
Moor n; -(e)s, -e	raba; (kõrg-) soo
Mörser m; -s, -	uhmer
Motortreibstoff m; -(e)s, -e	mootorikütus, -kütteseaine
sich Mühe geben	vaeva nägema; püüdlema
Muße f; -	vaba aeg, jõudeaeg

Nachfolger m; -s, -	pärija; järglane, järel- käija, poolehoidja, pooldaja
Nachfrage f; -	nõudmine
nach/grübeln	juurdlema, pead mardma
nach/jagen (s)	taga ajama, jälitama, järele kihutama
nach/spülen	loputama; uhtma, puhastama
nach/spüren	jälgima; uurima
Nachträglich	täiendav, lisa-; järgnev; pika vihaga; ebasoodne, mitte- kasulik
Nachweis m; -es, -e	tõendus; tõestamine, (aine olemasolu) kindlakstegemine
nachweisbar	tõendatav
nach/weisen (ie, ie)	tõendama; tõestama; näitama
Nadel f; -, -n	nõel; kudumisvarras; hee- gelnõel; (kompassi)nõel; (puu)okas
Nahrung f; -	toit
Nationaleinkommen n; -s	rahvuslik tulu, rahvatulu
Natronlauge f; -	naatriumhüdroksiid
Naturerklärung f; -, -en	looduse seletamine, loodus- nähtuste tõlgendamine
na'turgemäß	loomulik
das Naturgesetz von der Erhaltung der Masse und Energie	energia ja massi jäävuse seadus
Naturlehre f; -	füüsika; loodusõpetus
Naturphilosophie f; -	natuurfilosoofia
neigen	kallutama, (alla) painutama, kummardama
Neigung f; -, -en	(allapoole) paindumine; kal- dumine; kalduvus; kallak; inklinatsioon
Nichteisenmetallurgie f; -	värviline metallurgia
Nichtleiter m; -s, -	mittejuht, dielektrik, iso- laator

niehtumkehrbar

ni'tros

Nitroverbindung f; -, -en

Niveau n (ni'vo:); -s, -s

notfalls

nötigenfalls

nu'merisch

nunmehr

ainult ühes suunas kulgev,
pöördumatu

nitrosüül

nitroühend

tase, nivoo

hädakorral

tarbekorral, vajaduse korral

numbriline

nüüd; nüüdsest peale, siit-
peale

O

Oberfläche f; -, -n

obig

Objektträger m; -s, -

Ofensetzer m; -s, -

offenbaren

Ohrensessel m; -s, -

Ordnungszahl f; -, -en

Oper'ment n; -(e)s

Oxi'dul n; -s, -e
(nicht mehr im Gebrauch)

pealispind, välispind; pindala

ülaltoodud, ülalesitatud

(mikroskoobi) esemaklaas,
objektiklaas

ahjutegija, pottsepp

ilmutama; avaldama

(vanamoodne) tugitool

järjenumber, astomnumber

operment, arseeni sisaldav
mineraal

hapnikuvaene oksiid

P

Pa'pyrus m; -, ...ri

Paraf'finöl n; -(e)s, -e

Parti'aldruck m; -(e)s, "e

Par'tikel f; -, -n

Passi'vierung f; -, -en

Perser m; -s, -

phe'nolartig

papüürus; käsikirjarull

parafiinõli, vedelate süsi-
vesinikkude segu

partiaalarõhk, osarõhk

osake, partikkel

passiveerimine

pärslane

fenoolitaoline

Phe'nolharz n; -es, -
 Pis'till n; -s, -e
 Pla'kette f; -, -n

 Propfpolymerisation f; -
 plangeschliffen
 Plast m; -es, -e
 Plastik f; -, -en
 Plan'tage f (... 'ta:);
 -, -n
 der plantagenmäßige Anbau
 plau'sibel

 Polyaddition f; -
 po'rös = porig
 Pottasche f; -
 predigen
 Preisausschreiben n; -s, -
 Preßmasse f; -, -n
 Pri'vatvergnügen n; -s, -
 Produk'tionskosten pl
 Produk'tionskräfte pl
 Produktionsstätte f; -, -n
 Produk'tionszweig m;
 -(e)s, -e
 Puddelverfahren n; -s, -
 pur
 Putzlappen m; -s, -
 Putzmittel n; -s, -

fenoolvaik
 uharinui
 plakett, metallist tahvlike
 kujutustega madalreljeefis
 pookpolümerisatsioon
 paralleelseks lihvitud
 plastmass
 skulptuur, kuju
 istandus, plantaa?
 istandustes kasvatamine
 selge, arusaadav; vastuvõetav,
 usutav
 liitumine; ühinemine
 poorne, urbane
 potas, kaaliumkarbonaat
 jutlustama
 auhinnavõistlus
 pressmass
 eraldõbu
 tootmiskulud
 tootlikud jõud
 tsehh; tootmisüksus
 tootmisharu

 pudeldusmenetlus
 selge, puhas
 pesulapp; pühkelapp
 puhastusvahend

Q

Quartier n; -s, -e
 Quecksilber n; -s
 Quoti'ent m; -en, -en

korter
 elavhõbe
 jagatis

Rang m; -(e), "e	auaste, kraad; aste, järk, kategooria
wollte ihnen den Rang streitig machen	tahtis nendega võistelda, neid ületada
Raschigringe od. Raschig-Ringe pl	rašigi rõngad
Rasenbleiche f; -	väljas (päikese käes) pleegitamine
Rauminhalt m; -(e)s, -e	maht, ruumala; mahutatavus; kubatuur
X Rauheit f; -	X karedus, krobelisus
Re'agens n; -, ...'genzien od. ...'gentia	reaktiiv
Rea'genz f; -	reageerimine, reaktsioon
Rea'genzglas n; -es, "er	katseklaas
Resk'tionsbeschleuniger m; -s, -	katalüsaator
Real'gar m; -s	realgaar (mineraal, arseeni ja väävli ühend)
Rechenschaft ab/legen	aru andma
rechnerisch	matemaatiline
rechteckig	täisnurkne
rechtfertigen	õigustama
Reduktion f; -, -en	reduktsioon, taandus; redutseerimine, taandamine; redutseerumine, taandumine; desoksüdatatsioon; desoksüdeerimine; desoksüdeerumine
Reduktionsmittel n; -s, -	redutseerija, taandaja; desoksüdeerija
Regel f; -, -n	juhis, eeskiri
reglos	liikumatu
Regu'lierwiderstand m; -(e)s, "e = ein regelbarer Widerstand	reguleeritav reostaat
X Reibung f; -, -en	X hõõrumine, hõõrdumine
Reibungskraft f; -, "e	hõõrdejõud
Reibzünder m; -s, -	hõõrdsütik

reichen	jätkuma, piisama
X reizen	X ärritama, erutama
das Rennen machen	võitma, võitjaks tulema
Res'sourcen (r 'surs n) pl	ressursid, (majanduslikud) vahendid, tuluallikad
X Rest m; -(e)s, -e	X jääk, radikaal; jääk, saldo
Rettungswesen n; -s	päästetööd, päästmine
X ritzen	X kriipima, sisse lõikama
Rohr n; -(e)s, "e	toru; kõrkjas; pilliroog
Röhre f; -, -n	elektronlamp; toru
Rohrschelle f; -, -n	klamber (toru kinnitamiseks seina külge)
Rohsoda f; -	toorsooda
Rohstoff m; -(e)s, -e	tooraine
Rohstoffvorkommen n; -s, -	tooraine leiukoht
X Rosten n; -s	X (läbi) põletamine; särdamine
Rostschutzmittel n; -s, -	korrosioonivastane vahend
Roteisenstein m; -(e)s	punane rauamaak, hematit, raualäik
ro'tieren	pöörlema; tiirlema
ruckartig	tõukeliselt, jõnksuliselt
Rückbildung f; -, -en	im Text: järsku, äkki
Rückbildungsprozeß m; ...esses, ...esse	esialgse vormi taastamine või taastumine
mit Rücksicht hierauf	vastassuunaline protsess
Rückstand m; -(e)s, "e	seda silmas pidades, arves- tades
rückständig bleiben	jääk; sade, sete; fraktsioon; jääk, saldo; maksuvõlg
Ruhm m; -(e)s	võlgu jääma
Ruhm erwerben (a, o)	kuulsus
rühmen	kuulsaks saama
Rührwerk n; -(e)s, -e	kiitma, ülistama
Ruß m; -es	segisti
X rußen	tahm; nõgi
	tahmama, nõetama

sachgemäß	otstarbekohane
sal'petrige Säure	lämmastikuhape
Salzstreuer m; -s, -	soolatoos
Sandbad n; -(e)e, "er	liivavann
Sanftmut f; -	mehedus, leebus, pehmus; õrnus
Sauerstoff m; -(e)e	hapnik
sauerstoffentziehend	redutseeriv
Säure f; -, -n	hape
säurefest	happekindel
schädigend	kahjustav
Schädling m; -(e)s, -e	kahjur
schaffen	tegema; töötama; muretsema, hankima; toime tulema, valmis saama
Schale f; -, -n	tass; kausike; küvett; tald- rik; kuppel; kest; kate; munakoos
Scharlach m; -s	sarlakpunane värv
schäumen	vahutama, kobrutama
Schauspiel n; -(e)s, -e	vaatepilt, vaatemäng; näidend
Scheibe f; -, -n	ketas, seib; rihmaratas; plokk; plaat; membraan; märk- laud; aknaklaas; meekärjed
Scheit n; -(e)s, -e	puuhalg
Scherbenkobalt n; -(e)s	puhast arseeni sisaldav mine- raal
schier	peagu; paljalt, puhtalt
schier unfaßbar	lihtsalt arusaamatu
Schießofen m; -s, "od. Bombenofen m; -s, "	Gariuse ahi
Schilddrüse f; -, -n	kilpnääre
Schildkröte f; -, -n	kilpkonn
schimpfen	sõimama; kiruma, pahandama
Schlauch m; -(e)s, "e	voolik, kummitoru, lõdvik; õhukumm

schlechthin	lihtsalt, otseteed, täiesti
schleifen (i, i)	lihvima; käima, teritama
Schleifmittel n; -s, -	abasiiv
Schleimhaut f; -, "e	limanahk, limaskest
schließen (o, o)	sulgema; järeldama; (kuhugi) lukustama; eraldama; lõpetama
Schluck m; -(e)s, "e	lonks, sõõm
Schlund m; -(e)s, "e	kurk; neel, kõri, faarunks; kuristik, sügavik
X Schluß m; ...sses, ...üsse	sulgemine; lõpp; järeldus
X (einen Schluß ziehen	järeldust tegema, järeldama
Schlußfolgerungen ziehen	lõppjäreldusi tegema
X einen Schlußstrich ziehen	lõppkokkuvõtet tegema; joont alla tõmbama, lõppu tegema
X schmelzbar	sulav; sulatatav
Schmelzbarkeit f; -	sulavus
Schmelze f; -, -n	sulatamine, sulatus; sulamine; sulam; vann (näit. sulametalli jooks)
Schmelzer m; -s, -	metallisulataja
Schmelzhütte f; -, -n	(metalli) sulatuskoda; valu- koda, -tehas
Schmelzpunkt m; -(e)s, -e	sulamispunkt, sulamistempera- tuur
Schnittfläche f; -, -n	lõikepind
Schnupfen m; -s	nohu
Schöllkraut n; -(e)s, "er	vereurmarohi
Schoß m; ...sses, ..."sse	rüpp, süli
schreibekundig	oskab kirjutada
Schrift f; -, -en	ârift, kiri; perioodiline väljaanne; teos
Schrot n od. m; -(e)s, -e	jäme jahu; haavlid
Schuhzeug n; -(e)s	jalanõud
Schuppe f; -, -n	soomus
X Schutz m; -es	X kaitse, varje; hoidmine, kaitsmine
Schutzkappe f; -, -n	kaitsesake
Schwamm m; -(e)s, "e	vamm, käsn; hallitus; käsn- struktuuriga metall
Schwamm darüber	jätame selle!

Schweißen n; -s	keevitamine, keevitus
Schweißpulver n (...f r) und (...v r); -s, -	keevituspulber
X Schwefel m; -s	X väävel
Schwefelblume f od. Schwefel- blüte f; -	õisväävel
Schwefeleisenarsen n; -s	arsenopüriit
Schwefelkies m; -es	püriit
Schwefelkohlenstoff m; -(e)s, -e	süsinikdisulfiid
Schwefelleber f; -	väävelrusk (om. väävelrusu)
Schwefelmilch f; -	väävlipiim, amorfne väävel
schwefeln	väävliga töötlemine
Schwefelsäure f; -	väävelhape
schwefelsaure Tonerde	alumiiniumsulfaat
schwefelsaurer Kalk	kaltsiiumsulfaat
schwefelsaures Ammoniak	ammooniumsulfaat
schwefelsaures Kupfer	vask (II) sulfaat
schwefelsaures Magnesium	magneesiumsulfaat
schwefelsaures Zink	tsinksulfaat
Schwefelwasserstoff m; -(e)s, -e	vesiniksulfiid, väävelvesi- nik
schweflige Säure	väävlishape
Seetang m; -(e)s, -e	meresadru
segnen	õnnistama
Sehvermögen n; -s	nägemisvõime
Seigern n; -s	väljasulatamine, väärismetallide eraldamine mitteväärismetallidest
seitens	(kellegi) poolt; (kellegi) ülesandel, nimel
selbstentzündlich	isesüttiv, iseenesest süttiv
Selbstentzündung f; -	isesüttimine
senkrecht	perpendikulaarne, vertikaalne, püstloodis
X Senkung f; -, en	X kallak, langus; (hindade) alandamine; depressioon; sukeldumine; nõgu, lõhk

/ sichern	/ (millegi eest) kaitsma; kindlustama
sieben	läbi sõela laskma, kurnama; (läbi) sõeluma
/ Siedepunkt m; -(e)s	/ keemispunkt, keemistempera- tuur
Siedstab m; -(e)s, ^u e od. Siedstäbchen n; -s, -	poorse ehitusega kepp, mis takistab keemisviivitust ja soodustab aurumoodustumist
Siedeverzug m; -(e)s, ^u e	keemispunkti kõrgemale nih- kumine, keemisviivitus
/ Sieg m; -(e)s, -e (jemandem) zum Siege verhelfen	/ võit (kedagi) võidule aitama
/ Silber n; -s	/ hõbe
Sinn m; -(e)s, -e	meel; mõte; tähendus; kulg; suund
Sinnbild n; -(e)s, -er	sümbol
sinnen (a, o)	järele mõtlema, mõtisklema
Sintergrenze f; -, -n	kõvastumispiir, paakumis- piir
sirupdick	siirupitaoline
Sitz m; -es, -e	iste, istumiskoht; sadul; asukoht
/ Sklave m (...f...) od. (...v...); -n, -n	/ ori
Sklavenhalter m; -s, -	orjapidaja
Sklavenhaltergesellschaft f; -, -en	orjanduslik ühiskond
Sog m; -(e)s, -e	juurdeimemine, sisseime- mine; imamine; veekeeris (laeva kiiluvees); imendu- mine
/ Spaltung f; -	/ lõhustamine; lõhustumine; kihilistamine; kihistumine; jagunemine; kahestamine; kahestumine; barginemine
Span m; -(e)s, ^u e	tükk, kild; laast, laastud; pl puru
/ spannen	/ pingule tõmbama; (klemmi abil) kinnitama; pingul, ümber olema, pigistama

Spannungsreihe f; -

sparen

Spatel m; -s, -

Spießglanz m; -es

Spinnmaschine f; -, -n

Spitze f; -, -n

spröde

Sprödigkeit f; -

sprühen

spucken

spürbar

spüren

Staatsgut n; -(e)s, "er

Stab m; -(e)s, "e

Stahl m; -(e)s

Stahlerzeugung f; -

Stahlflasche f; -, -n

stammen

Stand m; -(e)s, "e

stand/halten (ie, a)

Standort m; -(e)s, -e

Standortverteilung f; -

Stange f; -, -n

Stangenschwefel n; -s

stapfen

pingerida, metallide aktiiv-
suse rida

kokku hoidma, säästma

speatel, lapits

antimoniit

ketrasmasin

(mäe)tipp, latv; (tööpingi)
tsentrum; teravik, väljaula-
tuv osa, nukk

rabe; habras; murduv

rabedus, haprus

(sädemete kohta) laiali len-
dama, esile paiskuma; (vee
kohta) tibama, pliskadena
laiali lendama

sülitama

funtav, tunduv

tundma; märkama

sovhoos

varb; kepp, sau; kang; latv,
ritv

teras

terasetootmine

terasballoon (surugaasi
jaks)

põlvnema, pärit olema

asend, asukoht; seisund;
tase, nivoo; stend; latter;
kiosk

vastu pidama; püsivaks osu-
tuma; püsima jääma; paika-
pidavaks osutama

asukoht; koht; (auto) seisu-
koht

territoriaalne paigutus

ritv; latt; varb; kang;
varras; (telegraafi)post

kangväävel

(raskelt) sammuma, astuma

Stärke f; -	tärklis; tärklisemett; tugevus, vastupidavus; kontsentratsioon; paksus; diameeter
Staupe f; -, -n	puhmas; pöösas
stechen (a, o)	torkama, pistma; nõelama; hammustama
der stechende Geruch	terav lõhn
Stecker m; -s, -	kontakt, kontaktikahvel
Stecknadelkopf m; -(e)s, "e	nööpnõelapea
Stehkolben m; -s, -	seisukolb
steigen (ie, ie) (s)	tõusma, suurenema; kasvama
steigern	tõstma; suurendama; tugevdama
steigern, sich	kasvama, suurenema, tõusma; tugevnema, intensiivistuma
Steigerung f; -	tõstmine; suurendamine
steil	järsk, püstloodis
stellen	nõudmist esitama
eine Forderung stellen	alaline, passiv
stetig	lämmatav
stickig	lämmatav õhk
Stickluft f; -, "e	lämmastik
Stickstoff m; -(e)s	lämmastikväetis
Stickstoffdüngemittel n; -s, -	lämmastikvesinikhape
Stickstoffwasserstoffsäure f; -	materiaalne, aineline
stofflich, stoffhaltig	materiaalne maailm
Stoffwelt f; -	rikkumine, rike; vigastus; avari; segamine; moonutamise; häire
Störung f; -, -en	lööki; tõuge; pööge, impuls; esi (maend.); virn, kuh
Stoß m; -es, "e	tõukama, lükkama; lööma; uuristama
stoßen (ie, o)	millelegi sattuma
auf etwas stoßen	sirutama; venitama
strecken	tuletikutoosi süttiva seguga kaetud külg
Streichfläche f; -, -n	

Streifen m; -s, -
Streit m; -(e)s, -e

streitig machen

Stricknadel f; -, -n

X Strom m; -(e)s, "e

Strudel m; -s, -

Stufe f; -, -n

sub'til

X suchen

riba; lint; padrunipide
tüli, riid; lahkarvamused,
vaidlus

(millelegi) vastu vaidlema;
(midagi) mitte tunnustama
(kudumis)vardad

X hoovus, voolus; jõgi; elektri-
vool

veekeeris, neelukoht
aste; intervall; sektsioon;
kaskad; faas, staadium;
skaala jaotus

subtiilne, peen, täpne, tera-
vamõtteline

X otsima; püüdma; taotlema

T

tabel'larisch

X tagen

Tagesablauf m; -(e)s

Tang m; -(e)s, -e

tappen

im Dunklen tappen

Tatsache f; -, -n

tauglich sein

Tausch m; -es

Teer m; -(e)s

Teerfarbe f; -, -n

Teig m; -(e)s, -e

Teilbarkeit f: -

Temperaturbeständigkeit f;-

Temperaturerniedrigung f;-

X Tiefkühlung f; -

Tiegelzange f; -, -n

toben

tabelikujuline, tabeliline

X istungit, koosolekut pidama
päeva kulgemine, päeva käik
vetikad; adru

raskelt sammuma, vaaruma;
kobama
käsikaudu kobama

fakt, tõsiasi

kõlbama, sobiv olema

vahetamine, vahetus

tõrv; gudroon

kivisõetõrvast saadud värv

tsigen

jaguvus

temperatuurikindlus

temperatuuri alanemine;
temperatuuri alandamine

X sügavjahutamine

tiiglitangid

märatsema, mässema, raevut-
sema

tödlich

Ton m; -(e)s, -e

Tonerde f; -

träge

Trägheit f; -

tränken

Transbe'i'kalien n; -s

Traubenzucker m; -s

Trennmittel n; -s, -

Trichter m; -s, -

Trockeneis n; -es

Trockenmittel n; -s, -

Tröckne f; - od.

Trockenheit f; -

Trog m; -(e)s, ^{Me}

Treiben n; -s

trüben

Trugschluß m; ...sses,
..."sse

Trümmer pl

surmav

(puhas) savi

alumiiniumoksiid

loid; aeglane; laisk;
inertne; vääris-(gaas)

loidus; inertis; inertsus

jootma, juua andma; immutama;
niisutama; küllastama

Taga-Baikali piirkond

viinamarjasuhkur, glükoos

eraldaja

lahter; punker; ruupor;
kraater

kuiv jää, süsihappelumi

kuivatav gaas. kuivatav
toimeaine, kuivataja

kuivus; põud

küna, anum, nõu

ajamine; kihutamine; tegut-
semine, tegelemine; äriaaja-
mine

sogastama, hägustama

pettejäreldus

rusud; varemed

U

u. ä. - und ähnliches

überaus

überbieten (o, o)

Überchlorsäure f; -

über'dauern

ja muud seesugust; muud
säärased

ebatavaliselt, ülimal määral,
äärmiselt

üle pakkuma; ületama

perkloorhape

(millestki) kauem kestma,
(midagi) kestuselt ületama,
(millestki) kauem vastu pida-
ma

über'ein/stimmen	kokku langema; vastama
über/führen	üle viima; üle andma
X Übergang m; -(e)s, "e	X üle minek; üle käigukoht, üle- käik
über/gehen (i, a)(s)	üle minema; muutuma
über'legen, sich	arutama; kaalutlema; järele mõtlemata
Über'legung f; -, -en	kaalutlus; järelemõtlemine; arutlemine, arutlus
über'runden	ette jõudma, ennetama
über'schreiten (i, i)	ületama, üle ulatama; üle astuma
Überschuß m; ...sses, ..."sse	jääk, liig
über'schwemmen	üle ujutama; ujutama
über/setzen	üle viima; üle sõidutama; üle toimetama
über/siedeln	kuhugi (elama) asuma; üle kolima
über'steigen (ie, ie)	üle minema, ületama; võitu saama, ületama (takistus); üle käima, ületama (tulusid, lootusi)
über'wiegen (o, o)	ülekaalus olema; valitsema, domineerima; üle olema, tuge- vam olema
X über'wiegend	X ülekaalus, enamuses (olev); valdav, domineeriv
über'winden (a, u)	jagu saama; võitma; üle saama (millestki)
über/ziehen (o, o)	(midagi) üle v. peale tõmbama
über'ziehen (o, o)	üle tõmbama, katma
über'ziehen, sich	kattuma
Überzug m; -(e)s, "e	kate, pealiskiht, -kord; kiht; kirme
um	ümber, (millegi) paiku; ajal; (millegi) võrra
Umkehr f; -	reversioon; inversioon, pööre, tagasipöördumine
X umkehrbar	X reversiivne, pöörduv
Umkreis m; -es, -e	ümbruskond; limb

um'fassen

um/füllen

um'geben (a, e)

X Um'hüllung f; -, -en

um/rühren

Umsatz m; -es, "e

X um/setzen

in die Tat umsetzen

X Umsetzung f; -, -en

Umstand m; -(e)s, "e

unter Umständen

X umwandelbar

Umwandelbarkeit f; -

um/wandeln, sich

Umwandlung f; -, -en

X Umwelt f; -

um'wickeln

X unabhängig

X unblösbar

unantastbar

X unedel

unedles Metall

Unendliche n; -n

unentbehrlich

X Unerkennbarkeit f; -

hõlmama, (endas) sisaldama

(teise anumasse) ümber valama
v. kallama

ümbritsema

X kest, ümbris, kate; mähis;
pakend

segi liigutama, segama

muutmine; muundamine; muutu-
mine; muundumine

X ümber seadma; asendama; asen-
dama; lagundama; lagunema;
reageerima; muutma; muundama;
transformeerima

teostama, realiseerima

X vahetamine, ümberpaigutus;
vahetus; muutumine; muundu-
mine; reaktsioon; vahetus-
reaktsioon

seik, asjaolu; olukord; pl
tingimused

testavatel tingimustel, tea-
taval juhul

X muutlik; muunduv

muutlikkus; muunduvus

muutama; muunduma

muutmine; muundamine; muutus;
ümerkujundamine, übermuut-
mine; muutumine; muundumine;
transformatsioon

X ümbritsev maailm

kinni mähkima, ümber panema,
ümber mässima

X sõltumatu

lahutamatu

puutumatu, riivamatu

X mitteõilis; harilik, lihtne
mitteväärismetall

lõpmatus

hädatarvilik; möödapaäsematult
vajalik

X tunnetamatus

unerschöpflich	ammutamatu, põhjatu; tühjen- damatu
ungesättigt	küllastumata
ungestrichen	värvimata
Unhaltbarkeit f; -	muutlikkus; vastupidamatus, mittepüsivus; ebakindlus; põhjendamatus, alusetus
Unkrautbekämpfungsmittel n; -s, -	umbrohutõrjevahend
unmittelbar	vahetu, otsene
unschicklich	südamatu, südausetu, siivut- tu; ebaviisakas
Unter'brechung f; -, -en	katkestamine, katkemine
unter'breiten	esitama (kippitamiseks); ette kandama, teatama
untergeordnet	vähem tähtis, kõrvaline
unter'halten (ie, a)	ülal pidama; korras pidama; alal hoidma; aega viitma, lõbustama; elatama
die Ver'brennung unter- halten	tulel mitte kustuda laskma
Unterlage f; -, -n	alus
unter'nehmen (a, o)	ette võtma, üritama
unter'richten	õpetama; juhendama, instruee- rima; teateld andma, infor- meerima, teatama
unter'scheiden (ie, ie)	eristama; vahet tegema
unter'scheiden, sich (ie, ie)	erinema; eralduma
unter/stellen	alla panema, alla asetama
unter'suchen	kontrollima, (järele) proovi- ma; uurima
Unter'suchung f; -, -en	õppimine, uurimine; uurimus; (uurimisevarade) eeluurimine, uuring
Unter'suchungsflüssigkeit f; -, -en	uuritav vedelik, uurimis- objektiks olev vedelik
unter'werfen (a, o)	alistama, allutama
unter'ziehen (o, o) einer Prüfung unter- 'ziehen	alla panema kontrollile allutama, kontrol- lima

✓ unveränderlich	✓ muutumatu, püsiv
✓ unvermögend	✓ võimetu, jõuetu; vaene, varanduseta
unvereingenommen	eelarvamusteta; erapooletu, objektiivne
unwissend	harimatu, võhiklik; informeerimatu
unzerbrechlich	purunematu, mittepurunev
Unzulänglichkeit f; -, -en	mitteküllaldasus, piisamatus
Urbaustein m; -(e)s, -e	algosa, esimene ehituskivi
Urbestandteil m; -(e)s, -e	algkomponent, algosa
Urgrund m; -(e)s, "e	ürg-, algpõhjus, esipõhjus
Urmaterie r; -	algmateeria, ürgmateeria, esimene mateeria, esimateeria
✓ Ursprung m; -(e)s, "e	✓ allikaß, tekkimine; põlvnemine; päritolu
✓ Urteil n; -(e)s, -e ein Urteil sprechen	✓ otsus, arvamus otsust tegema v. langetama
urweltlich	ürgaegne
UV-Bestrahlung = Ultra- violettbestrahlung f; -	ultraviolettkiired

V

vag od. vage	ebamäärane, ebakindel
Vari'able f; -, -n	muutuv (suurus), muutuja
VEB = Volkseigener Betrieb	rahvaettevõtte, riikliku sektori ettevõtte SDV-s
vegeta'bil od. vegeta'bi- lisch	taim-, taimeline
✓ Ver'änderung f; -, -en	✓ muutmine; muutumine
ver'anlassen	ajendama, esile kutsuma; põhjustama
Ver'anlassung f; -, -en	tõuge, aje; ajend; initsiaatiiv
Veranlassung geben	põhjustama
ver'anschaulichen	näitlikustama; selgeks tegema

Ver'arbeitung f; -, -en	übertöötamine; töötlemine
X ver'armen (e)	X vaesestuma, vaeseks jääma
ver'bergen (a, o)	peitma, varjama
Ver'bindung höherer Ordnung = Koordinationsverbindung f; -, -en	koordinaatsioonühend
X ver'bindungsträge	X inertne
Ver'bleib m; -(e)e	asukoht, asupaik; viibimis-koht, viibimispaik
Ver'brauch m; -(e)s	tarbimine, kulu, kulutus
Ver'brauchsgebiet n; -(e)e, -e	tarbimispiirkond
X ver'breiten	X levitama, laiali laotama
X ver'brennen (a, a)	X (ära) põletama; (ära) kõrve-tama; maha põletama; põlema; (ära) kõrbema
Ver'dampfbarkheit f; -	auruvus; aurustumus
ver'dampfen	aurama; aurustama
Ver'dampfung f; -	auramine; aurumine; aurusta-mine; aurustumine
X ver'dichten	X tihendama, kondenseerima, kokku suruma
Ver'dickungsmittel n; -s, -eich um etwae verdient machen	paksendaja; tihendaja
ver'drehen	paigast väänamas; kõveraks keerama; vassima, moonutama
ver'dünnen	õhukeseks v. õhemaks tegema; lahjendama; hõrendama
verd. = verdünnt	
Ver'dunstung f; -	auramine; aurumine; aurusta-mine; aurustumine; pihusta-mine; pihustumine
X ver'edeln	X paremaks tegema; vääriletama; aretama; täiustama, viimist-lemas; rikastama
Ver'ein m; -(e)s, -e	ühendus; ühing; selts; kor-poratsioon
im Verein mit jemandem	kolleegagi koos
ver'einfachen	lihtsamaks muutama, lihtsus-tama

X Ver'fahren n; -s, -	X meetod, talitusviis; protsess; menetlus; võtte
ver'fließen (o, o) (s)	mööduma; laiali valguma (värvide kohta)
X ver'flüchtigen, sich	X lenduma; hahtuma; aurustuma; gaasistuma
X ver'flüssigbar	X veeldatav
ver'flüssigen	veeldama, vedelikuks muutma
Ver'flüssigung f; -	veeldamine; veeldumine
X zur Verriigung stellen	X käsutusse andma
ver'führerlech	võrgutav, ahvatlev
X ver'geblich	X asjatu
Ver'gehen n; -s	kadumine, hääbumine
in Vergessenheit geraten (ie, a) (s)	unustusse langema
ver'gilben (s)	kolletuma
Ver'halten n; -s	käitumine; suhtumine; reageerimine; talitusviis (elemendi) keemiline toime
das chemische Ver'halten	käituma; eeinema; suhtuma; toimima
ver'halten, sich	suhe, vahakord; proportsioon; koefitsient
X Ver'hältnis n; ...nisse, ...nisse	X (kellelgi midagi) saavutada aitama
ver'helfen (a, o)	maagi metallurgiline töötlemine; (metalli) väljasulatamine, sulatamine
Ver'hüttung f; -	ärähoidmine, vältimine; kaitsmine, hoidmine
Ver'hütung f; -	im Text: oksüdatsioon
Ver'kalkung f; - -	X überpöördult
Ver'kalken n; -s	aheldama; ühendama; sidestama
X ver'kehrt	kokku siduma, sõlmima; ühendama; kinnitama
ver'ketten	söestama; söestuma; süsinikku sisse viima; süsinikuga küllastama
ver'knüpfen	kinni korkima, korgiga sulgema
ver'kohlen	
ver'korken	

ver'kriechen, sich (o,o)	varjule v. peitu pugema
ver'künden	kuulutama, avaldama
Ver'lauf m; -(e)s, *e im Verlaufe	jooks, kulg; spüür, diagramm (millegi) jooksul, kestel
Ver'legenheit f; -	kimbatus, kohatus
ver'lesen (a, s)	ette lugema
Ver'lieren, sich (o, o)	kaduma; süvenema, sukelduma
Ver'lust m; -(e)s, -e	kaotus; kadu (lekkimiskadu, labumiskadu, lendumiekadu)
ver'meiden (ie, ie)	vältima; kõrvale hoiduma
Ver'meidung f; -	vältimine
ver'meintlich	arvatav, oletatav
ver'mengen	segama; eegustama
ver'mindern	vähendama; kahandama; kitsen- dama; nõrgendama
Ver'mögen n; -s, -	varandus; võime, võimalisus, jõud
ver'mögen (o, o)	suutma, võima; võimaline olema
Ver'mutung f; -, -en	oletus, eeldus
ver'nachlässigen	hooletusse jätma; mitte küllalt tähelepanelikult suhtuma
ver'puffen (s)	plahvatama; järsku süttima
ver'ringern	vähendama, kärpima, kahandama
ver'rinnen (a, o) (s)	ära voolama v. valguma; kadu- ma, mööduma
Ver'sand m; -(e)s	välja-, ärasaatmine, transport
Ver'schiebung f; -, -en	ümberrajutus, ümberasetus; nihkumine, nihe
Ver'schiedenheit f; -	erinevus; lahkumine, vahe; mitmekesisus
ver'schlossen	lukustatud, kinnine
ver'schmutzen	ära määrima, mustama, reostama
ver'schütten	maha kallama, maha loksutama
ver'schwindend klein	lõpmatult väike
ver'sehen (a, e)	varustama
ver'seifen	seebistama; eeebistama
ver'setzen	üle viima, ümber paigutama

X ver'sinken (a, u)(s)	X eieise v. alla vajuma; langema
X ver'ständigen	X informeerima, teatama, teateid andma
Ver'ständnis n; ...soss	mõistmine, arusaamine
X Ver'such m; -(e)s, -e	X proov, proovimine; eksperiment, katse
Versuche anstellen	katseid korraldama
Ver'suchsleiter m; -s, -	katsete juhataja
X ver'teilen	X osadeks jaotama
ver'traut werden	tutvuma, hästi tundma õppima
X ver'unreinigen	X rüvetama; reostama; saastama; saastuma
X ver'ursachen	X tekitama; põhjustama
ver'vollkommen	täiustama; täiendama
ver'wandeln	muutma, muundama, transformeerima
X Ver'wandlung f; -, -en	X muutmine, muundumine
X ver'wenden (verwendete od. verwandte, verwendet od. verwandt)	X rakendama, kasutama, tarvitama
Ver'wendung f; -	rakendamise, kasutamise, tarvitamise
ver'werfen (a, o)	(kõlbmatuna) kõrvale heitma, välja viskama
ver'werten	(ära) kasutama; realiseerima
X ver'wesen	X mädanema; roiskuma, lagunema
ver'wickelt	keeruline, komplitseeritud
ver'wirklichen	teostama, läbi viima, realiseerima, täide saatma, ellu viima
ver'zehren	ära sööma, läbi sööma; tarvitama, tarbima
ver'zehren, sich	end kurnama; jõuetuke jääma; kõhetuma
Viehwirtschaft f; -	loomakasvatust
X Vielfalt f; - od. Vielfältigkeit f; -	X mitmekesisus, mitmekülgsus
Vielfgestaltigkeit f; -	polümorfism
Vielsahl f; -	mass, suur hulk (arv)

voll'ziehen, sich (o, o)	juhtuma, toimuma; kulgema
Vo'lumen n; -s, -od. ... mina	maht, raumala
Vo'lumenänderung f; -, -en	mahu muutumine
von'statten gehen	toimuma
von vornherein	juba ette; pikema jututa; endastõistetavalt; arusaada- valt
vor'angehen (i, a) (s)	ees käima, ees minema; eelne- ma
vor'aufgehend	eelnev
Vor'aussetzung f; -, -en	eeldus, oletus; eeldus, eel- tingimus
vorbehaltlos	tingimusteta
vorbehandelt	eeltöödeldud
Vordergrund m; -(e)s	esiplaan
vor'dringen (a, u) (s)	läbi tungima, esile tungima; edasi liikuma
Vorgang m; -(e)s, Me	protsess; operatsioon; näh- tus; reaktsioon
vor'gehen (i, a) (s)	edasi minema; toimuma; tegut- sema; toimima; eel käima, tähtsam olema; ette käima (kella kohta)
Vorgesetzte m; -n, -n	juhataja; vastutav töötaja; ülemus, šeff
vor'handen vorhanden sein	olemasolev olemas olema
Vor'handensein n; -s	eksisteerimine, olemasolu
vorherrschend	ülekaalus, valitsev
Vorkehrungen treffen	korraldusi tegema, abinõusid tarvitusele võtma, samme astuma
Vorkommen n; -s, -	esinemine, leidumine; (maagi) leiukoht, maardla
vor/liegen (a, e)	(ees) olema, eksisteerima; esindatud olema
Vorliegend	käesolev; antud, esitatud; olemasolev
Vorrätig	tagavaras olev, laos olev

Vorrichtung f; -, -en

Vorschrift f; -, -en

vorteilhaft

vortrefflich

vor'übergehende Härte

vorwiegend

vor/siehen (o, o)

vorsüßlich

Vul'kanfieber f; -, -n

seadis; aparaat; seadeldis,
seade; mehhanism; eeltöö, ette-
valmistustöö

eeskiri; juhend, juhis; määrus-
tik; põhimäärus

kasulik, soodne, tulus

suurepärase, väga hea

mööduv e. kõrvaldatav (vee)
karedus

peamiselt, peaaugjalikult;
eelis-, eelistatud

välja tõmbama; ette tõmbama;
eelistama, paremaks pidama

suurepärase, oivaline; eelis-
tatud, eelistamisi

fiiber

W

Waage f; -, -n

Wachs n; -es

Wachskerze f; -, -n

Wachstumsrate f; -, -n

wachswelch

Wägung f; -, -en

wahr/nehmen (a, o)

Waid m - Färber-Waid m;
-(e)s, -e

walzbar

Wandung f; -, -en

Wärmebeständigkeit f; -

Wärmeentwicklung f; -

Wärmeerzeugung f; -

Wärmeträger m; -s, -

Waschflasche f; -, -n

Waschmittel n; -s, -

kaal; vesilood, vaaderpass

vaha

vahaküünal

kasvunäitaja

vahapehne

kaalumine; kaalutlus

märkama; eraldama, eristama;
tajuma; vaatlema

sinerõigas

valtsitav

sein

soojakindlus; kuumakindlus

soojuse teke, soojuse tekki-
mine; soojuse vabanemine

soojuse teke, soojuse tekkimine

soojusekandja

pesupudel

pesemisvahend; pesupulber

Wasserbad n; -(e)s, "er	veevann
Wassergas n; -es	veegaas
Wasserlöslich	vees lahustuv
Wasserstoff m; -(e)s, -e	vesinik
Wasserstoffsäure f; -, -n	vesinikhape
Webstuhl m; -(e)s, "e	kangasteljed, kangaepuud
im Wege stehen	takistuseks olema
Weichharz n; -es, -e	(okaspuu) vaik; pehme vaik
weilen	olema, viibima, asuma
Weinflaß n; ...sses, ..."sse	veinivaat
Weinsteinöl n; -(e)s	viinakiviõli
Weinstock m; -(e)s, "e	viinapuu; viinamarjaväät
Weißgold n; -(e)s	valge kuld, kulla ja pallas- diumi sulam
Weißkalk m; -(e)s	valge lubi, (pulbriline) kustutatud lubi
Weiterführung f; -	edasine käik; jätkumine
weiterhin	edaspidi; tulevikus
Weltanschauung f; -, -en	maailmavaade
Weltmeer n; -(e)s, -e	ookean
Werden n; -s	saamine; tekkimine; kujune- mine, arenezimine; algus
Werkhalle f; -, -n	tsehh
Werksabteilung f; -, -en	tsehh
Werkstoff m; -(e)s, -e	materjal
-wertig	valentne
Wesen n; -s	olend; olemus
Wettbewerb m; -(e)s, -e	võistlus; konkurss
wider'legen	üंबर lükkama, väärama; vastu vaidlema
widerlich	vastik
wider'spiegeln	kajastama, peegeldama
wider'spiegeln, sich	peegelduma
wider'sprechen (a, o)	vastu rääkima; vastu käima, vastuolus olema; vastu väitma vastu vaidlema

Widerspruch n ; -(e)s, "e	lahkheli, vastuolu, vastu-rääkivus; ebakõla, seostama-tus
widerstandsfähig	vastupidav
wider'stehen (a, a)	vastu panema, püsima jääma; vastu hakkama (toitude kohta)
winsig	tilluke, äärmiselt väike
wirken	toimima, mõju avaldama; te-guteema; töötama; kuduma
Wirkliche n; -n	tõeline; tõelus
Wirklichkeit f; -	tegelikkus, tõelisus
wirksam	mõjus, tõhus, toimekas, efektiivne; (tõhusalt) toi-miv; (jõus) olev, kehtiv
Wirtschaftskreislauf m; -(e)s	majanduskäive
Wischtuch n; -(e)s, "er	pühkelapp, -kalts
Wissen n; -e	teadmine
wittern	haistma; tundma; aistima
Wohl n; -(e)s	hüve; heaolu, hüvang, hea-käekäik
Wohlstand m; -(e)s	heaolu
Würfel m; -s, -	heksaeeder, kuustahukas; kuup; kuubik; täring

Z

zäh	veniv; sitke; vintske; kleepuv
zu'sammenbeißen (i, i) die Zähne zusammenbeißen	hambad kokku pigistama
Zellhorn n; -(e)s	tselluloid
Zellstoff m; -(e)s	tselluloos
zer'fallen (ie, a) (s)	katki minema, purunema; lagunema; jagunema
zer'fließen (o, o) (s)	laiali valguma
zer'gehen (i, a) (s)	lahustuma; (ära) sulama
zer'kleinern	peenestama, peenendama; purustama; tükeldama, lüi-kuma

✓ Zer'knall m; -(e)s, -e	✓ plahvatus, detonatsioon
✓ zer'legen	✓ koostisosadeks lahutama, lagundama; jagama, jaotama; analüüsima, liigendama, algtegereiks lahutama
✓ zer'reiben (ie, ie)	✓ peeneks hõõruma, puruks hõõruma
zer'schmettern	✓ puruks lööma; purustama
✓ zer'setzen	✓ lagundama
✓ zer'setzlich	✓ lagunev; lagundatav
✓ Zer'setzung f; -, -en	✓ lagundamine, lagunemine
✓ zer'spalten	✓ lõhustama; lõhustuma; lõhkuma
✓ zer'sprengen	✓ purustama; õhku laskma, lõhkama
zer'stäuben	pihustama
zer'stoßen (ie, o)	pulbriks tõukama; peeneks tampima
zer'streuen	hajuma; hajutama
✓ ziehen (o, o)	✓ tõmbama; välja tõmbama; vedama; juurima; (joont) tõmbama; minema
zu Felde ziehen	sõjakäiku ette võtma
Zinkvitri'ol m od. n; -s	tsinkvitriol, valge silmakivi
✓ Zinn n; -(e)s	✓ tina
Zirkelschluß m; ...sses, ..."sse	järeldus ringis
züchten	kasvatama; üles kasvatama; aretama
zufolge	(millegi) tagajärjel; (millegi) kohaselt
zufrieden	rahul
sich zufrieden geben	rahule jääma, rahulduma, leppima (millegagi)
Zug m; -(e)s, -e	liikumine; ümberpaigutamise; tõmme; õhutõmbus, tõmbetuul; tuul; suitsumahv; lõõr; tõmbemehhanism; rong; eeselon; karavan; kala-, linnuparv; töölisbrigaad

X Zugabe f; -, -n	X lisamine; preemia; (tasuta) lisa; lisamine, täiendus
zugsechsmolsen	X kinnijoodetud
X zu'grunde legen	X aluseks võtma; millelegi rajama
zu'gunsten	kasuks, heaks
zu/kommen (a, o)	(kellelegi, millelegi) lähenema, (kellegi, millegi poole) suunduma; sobiv, sünnis olema; osake langema
zu/lassen (ie, a)	juurdepääsu võimaldama; lubama
zulässig	lubatav
X Zunahme f; -	X juurdekasv, suurenemine, kasv, liive, lisandumine
zu'nächst	kõigepealt; esmajoones
Zündholsschachtel f; -, -n	tuletikutoos
X Zündung f; -	X süüteseadis; sütik; süüde (autol); plahvatus
zu'rück/bleiben (ie, ie)(o)	maha jääma; järele jääma
zu'rück/er'halten (ie, a)	tagasi saama
zu'rück/erstatten	tagastama (võlga); tasuma, hüvitama
zu'rück/greifen (i, i)	tagasi pöörduma (millegi juurde); (millestki) abi otsima
zu'rück/schieben (o, o)	tagasi lükka
Zu'rückweisung f; -, -en	tagasilükkamine; keeldumine, äraütlemine; tõrjumine, vastupanu, vastulöökk
zu'sammen/fassen	resümeerima, üldtagajärjena kokku võtma; kokkuvõtet tegema, summeerima; ühendama
zu'sammen/fließen (o, o)(o)	kokku voolama, kokku valguma; ühinema
Zu'sammenhaltekräft f; -	kohesioon
X Zu'sammenhang m; -(o)s, *e	X seos, sõltuvus, kokkukuuluvus; korrelatsioon, vastastikune suhe
X zu'sammenhängend	X seoses v. ühenduses olev in Text: terviklik

✓ zu'sammen/treten (a,e) (s)	✓ kokku tulema; kogunema
zu'sammengesetzte Körper	liitkehad
zu'sammengesetzte Stoffe	liitained
✓ Zu'sammensetzung f; -, -en	✓ koostia, koosseis; montaaž; liitmine; ühinemine; ühenda- mine, kompositsioon
✓ Zu'sammenstellung f; -, -en	✓ koostamine, valik
zu'sammen/stoßen (ie, o)	kokku lööma; ühendama, liit- ma; kokku põrkama; kokku puutama, piirnema
zu'sammen/ziehen, sich (o,e)	kokku tõmbuma; kogunema
✓ Zu'satz m; -es, -e	✓ lisand, lisa; laiendus, täiendus; selgitus; korol- laar; manus
✓ zu'sätzlich	✓ lisa-, täiendav; lisaks
zu/schreiben (ie, ie)	(millegi v. kellegi) arvele kirjutama; (kellelegi v. millelegi) omistama
zu/schmelzen	kinni sulatama; kinni joot- ma
✓ zu/setzen	✓ lisandama
✓ Zustand m; -(e)s, -e	✓ seisund, seisukord, olukord
zu'stande kommen	toimuma, teostuma
Zustimmung f; -, -en	nõusolek, nõustumine; heaks- kiitmine
die Zustimmung einholen	nõusolekut, luba saama
Zuverlässigkeit f; -	usaldusväärsus, õigsus
Zuwachs m; -es	juurdekasv, iive
Zuwachsrate f; -, -n	juurdekasvunäitaja
✓ zwingen	✓ (jõuga) suruma; pigistama; sisse suruma
sich zu einer Flüssigkeit zwingen	veelduma
zweckmäßig	otstarbekohane
Zymotechnik f; - - Gärungs- technik f; -	keemiliste produktide sümoloogiline tootmine

Тартуский государственный университет
ЭССР, г. Тарту, ул. Бликооли, 18

Х.Тызвере, К.Уусталу

ТЕЖСТЫ ДЛЯ ХИМИКОВ

На немецком и эстонском языках

Vastutav toimetaja A. All

=====

TRD rotaprint 1966. Trükipoognaid 12,75.
Tingtrükipoognaid 11,6. Arvestuspoognaid
9,46. Trükiarv 300. Paber 30x42. 1/4.
Paljundamisele antud 20. XII 1966.
MB 11847. Tell. nr. 553.

Hind 27 kop.